

Conception et application d'une méthodologie multicritère
floue de sélection de logiciels de planification et
d'ordonnancement avancé (APS)

par

Fabrice Chilly NGAMALEU PIENGANG

MÉMOIRE PAR ARTICLES PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE MÉCANIQUE
M. SC. A.

MONTRÉAL, LE 28 MAI 2018

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

© Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Yvan Beauregard, directeur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Jean-Pierre Kenné, codirecteur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Christian Belleau, président du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Victor Songmene, membre du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 24 MAI 2018

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon DIEU tout puissant qui m'a toujours protégé et gardé pendant toutes ces années et grâce à qui j'ai pu mener ce projet à terme.

Je remercie particulièrement mon directeur de recherche, le professeur Yvan Beauregard qui n'a ménagé aucun moyen et aucun effort pour m'accompagner tout au long de ce travail ainsi que mon codirecteur de recherche, le professeur Jean-Pierre Kenné. Leurs accompagnements ont été précieux et déterminant dans la réalisation de ce projet. Je les remercie de leur patience et de leur disponibilité.

Je remercie également l'entreprise Siemens Canada à travers madame Katherine Schmidt, directrice des opérations d'assemblage des moteurs, d'avoir accepté d'accueillir ce projet dans leur entreprise. Leur soutien moral et matériel ainsi que leur contribution scientifique ont fortement contribué à la réalisation de ce projet. Je les remercie de leur disponibilité.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers le CRSNG pour sa contribution financière.

Enfin je tiens particulièrement à remercier ma conjointe Sandrine Priscille Samba Abomo, ainsi que mes parents, mes frères et sœurs et mes amis dont le soutien a été crucial dans les moments de doute et de remise en question.

CONCEPTION ET APPLICATION D'UNE MÉTHODOLOGIE MULTICRITÈRE FLOUE DE SÉLECTION DE LOGICIELS DE PLANIFICATION ET D'ORDONNANCEMENT AVANCÉ (APS)

Fabrice Chilly NGAMALEU PIENGANG

RÉSUMÉ

Avec la mondialisation, la croissance des entreprises et les besoins de plus en plus exigeants des clients, les défis en termes de planification et d'ordonnancement des opérations en environnement manufacturier ne cessent de croître. Face à cette situation, les entreprises manufacturières sont dans l'obligation de mettre à jour leurs politiques de planification et d'ordonnancement en adoptant des systèmes et des approches de planifications nouvelles telles que la planification et l'ordonnancement avancés (POA). Dans cet exercice, les entreprises désirant implanter des approches de POA ont généralement deux possibilités. Elles peuvent choisir de développer une solution personnalisée ou alors d'implanter des logiciels commerciaux de POA. La deuxième piste est plus courue de nos jours.

L'objectif de ce travail est d'accompagner les entreprises désirant améliorer la planification et l'ordonnancement de leurs opérations par la sélection et l'implantation d'un logiciel commercial de POA. Plus précisément, le but de ce travail est d'évaluer et de sélectionner parmi les logiciels commerciaux de POA disponibles sur le marché celui qui satisfait au mieux les besoins de l'entreprise. Trois sous objectifs ont été identifiés : la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement de l'entreprise, la capture des besoins de l'entreprise et la conception d'une nouvelle méthodologie de sélection intégrant sous incertitude à la fois les besoins de l'entreprise et les critères et sous critères de sélection.

La méthodologie adoptée pour cette étude est celle dictée par la science de la conception, qui permet l'itération du processus de conception afin de perfectionner et de valider les résultats ou les livrables obtenus. Des données sont recueillies auprès d'experts et des preneurs de décisions internes à l'entreprise à l'aide d'entrevues individuelles et de groupes. Par ailleurs, en guise de contributions de cette recherche, trois méthodes ont été conçues. La première méthode permet de cartographier les processus de l'entreprise. La deuxième méthode est destinée à la capture des besoins de l'entreprise tandis que la troisième méthode intègre le déploiement de la fonction qualité (DFQ), l'analyse hiérarchique des processus (AHP) et la méthode VIKOR pour la sélection du logiciel qui satisfait au mieux les besoins de l'entreprise. Cette intégration est rendue possible en mettant en place une version modifiée du DFQ. L'incertitude sur les données provenant des enquêtes adressées aux experts et aux preneurs de décision est considérée par l'utilisation de la logique floue et des variables linguistiques.

L'approche globale de l'étude est appliquée à un cas réel d'entreprise manufacturière. Les résultats montrent la pertinence des méthodes développées face au problème de sélection d'un logiciel de POA.

VIII

Mots-clés : Prise de décision, planification et ordonnancement, DFQ flou, AHP floue, VIKOR floue, logiciels APS, méthode de prise de décision multicritères.

DESIGN AND APPLICATION OF A FUZZY MULTIPLE CRITERIA METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING (APS) SOFTWARE

Fabrice Chilly NGAMALEU PIENGANG

ABSTRACT

With globalization, business growth and increasingly demanding customer needs, the challenges in terms of planning and scheduling of operations in the manufacturing environment are constantly growing. Faced with this situation, manufacturing companies are being forced to update their planning and scheduling policies by adopting new planning systems and approaches such as advanced planning and scheduling (APS). In this exercise, companies wishing to implement APS approaches generally have two possibilities. They may choose to develop a customized solution or implement commercial APS software. This second option is the one to which most of today's company turn.

The objective of this work is to assist companies wishing to improve the planning and scheduling of their operations by selecting and implementing a commercial APS software. Specifically, the purpose of this work is to evaluate and select among commercial APS software available on the market the one that best meets the needs of the company. Three sub-objectives have been identified: the mapping of the company's planning and scheduling processes, the capture of the company's needs and the design of a novel selection methodology integrating under uncertainty the needs of the company and the criteria and sub criteria for selection.

The methodology adopted for this study is the one dictated by the design of science, which allows the iteration of the design process to perfect and validate the results or deliverables obtained. Data is collected from in-house decision-makers, and from experts using individual interviews and group interviews. Furthermore, as contributions of the research, three methods have been designed. The first method makes it possible to map the processes of the company. The second method is designed to capture business needs while the third method integrates the quality function deployment (QFD), the analytic hierarchy process (AHP) and the VIKOR method for the selection of the software that best meets the needs of the company. This integration is made possible by implementing a modified version of the QFD. Uncertainty in the data from surveys addressed to experts and decision-makers is considered by using fuzzy logic and linguistic variables.

The global approach of the study is applied to a real manufacturing company case. The results of this application show the relevance of the methods developed facing the problem of selecting an APS software.

Keywords: Decision-making, Planning and scheduling, Fuzzy QFD, Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR, APS software, Multiple criteria decision-making (MCDM).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	9
1.1 Introduction.....	9
1.2 Planification et ordonnancement.....	9
1.3 Conception d'une méthodologie de sélection de logiciels de POA.....	14
1.3.1 Méthode de prise de décision.....	14
1.3.2 Sélection et implantation de logiciels de gestion manufacturière.....	16
1.4 Cartographie des processus.....	20
1.4.1 Le SIPOC	21
1.4.2 Le VSM.....	21
1.4.3 Le diagramme de flux simples et de flux croisés.....	23
1.4.4 Le DSM.....	24
1.5 Capture des besoins.....	25
1.5.1 Techniques de facilitation	25
1.5.2 Approche de capture des besoins	26
1.5.3 Traitement des besoins des clients	28
1.6 Conclusion	29
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	31
2.1 Introduction.....	31
2.2 Méthodologie générale de la recherche	31
2.2.1 Présentation de la science de la conception	32
2.2.2 Les étapes de la recherche découlant de la science de la conception	33
2.2.3 Livrables de la recherche	36
2.3 Méthodologie de la cartographie des processus.....	37
2.3.1 Choix de la méthode de cartographie.....	37
2.3.2 Modèle préliminaire du processus	38
2.3.3 Modélisation du processus par cycle auteur-lecteur	38
2.3.4 Saturation du modèle	39
2.3.5 Livrables	39
2.4 Méthodologie de la capture des besoins	40
2.4.1 Échantillonnage.....	40
2.4.2 Établissement de la liste préliminaire des besoins	41
2.4.3 Processus par cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins.....	42
2.4.4 Collecte de données	42
2.4.5 Traitement des données.....	43
2.4.6 Mise à jour de la liste des besoins de l'EP.....	43
2.4.7 Étude de la saturation empirique.....	43
2.4.8 Livrables	44
2.5 Méthodologie de la conception de l'outil amélioré de sélection	44

2.5.1	Choix méthodologiques	44
2.5.2	Conception de la méthodologie de sélection préliminaire	46
2.5.3	Conception par cycle auteur – lecteur	46
2.5.4	Livrables	47
2.6	Évaluation des résultats	47
2.7	Conclusion	48

CHAPITRE 3 APPLICATION DES MÉTHODOLOGIES DÉVELOPPÉES AU CAS DE L'EP		49
3.1	Introduction	49
3.2	Cartographie des processus	51
3.2.1	Cartographie du processus de planification	51
3.2.1.1	Choix de la méthode de cartographie de processus	51
3.2.1.2	Modèle préliminaire du processus de planification	51
3.2.1.3	Modélisation du processus de planification par cycle auteur-lecteur	53
3.2.1.4	Présentation de la cartographie du processus de la planification	55
3.2.1.5	Étude de la saturation empirique	55
3.2.1.6	Observations relatives à la cartographie du processus de planification	57
3.2.2	Cartographie du processus d'ordonnancement	57
3.2.2.1	Choix de la méthode de cartographie de processus	57
3.2.2.2	Modèle préliminaire du processus d'ordonnancement	58
3.2.2.3	Modélisation du processus d'ordonnancement par cycle auteur-lecteur	60
3.2.2.4	Étude de la saturation empirique	60
3.2.3	Observations relatives à la cartographie du processus d'ordonnancement	62
3.3	Capture simultanée des besoins pour la planification et l'ordonnancement	63
3.3.1	Établissement de la liste préliminaire des besoins	63
3.3.2	Processus par cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins	64
3.3.2.1	Collecte et traitement des données	64
3.3.2.2	Étude de la saturation empirique	65
3.4	Conclusion	66

CHAPITRE 4 A NOVEL APS SOFTWARE SELECTION METHODOLOGY INTEGRATING FUZZY QFD, FUZZY AHP AND FUZZY VIKOR		69
4.1	Abstract	69
4.2	Introduction	70
4.3	Literature Review	73
4.3.1	Advanced Planning and Scheduling (APS)	73
4.3.2	Selection of Engineering Software	74
4.3.3	Methods and Approaches Used for Selection Problems	75
4.4	Materials and Methods	77

4.4.1	Criteria and sub criteria in APS Software Selection.....	77
4.4.2	Stakeholders.....	78
4.4.3	Fuzzy Set Theories and Linguistic Variables	79
4.4.4	Fuzzy AHP.....	82
4.4.5	Fuzzy QFD.....	86
4.4.6	APS software alternatives in competition.....	91
4.4.7	Fuzzy VIKOR	92
4.5	The Proposed Methodology.....	95
4.6	Case study	97
4.7	Discussion, Validation and Sensitivity Analysis	109
4.8	Conclusion	113
CHAPITRE 5	DISCUSSION	117
5.1	Introduction.....	117
5.2	Cartographie des processus de planification et d'ordonnancement de l'EP	117
5.3	Capture des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement	118
5.4	Conception d'une méthodologie de sélection de logiciels de POA.....	119
5.5	Les limitations de la recherche	121
5.6	Les recommandations pour les recherches futures	122
CONCLUSION	125
ANNEXE I	LISTE DES RÉALISATIONS RELATIVES À CE PROJET DE RECHERCHE.....	129
ANNEXE II	INTRODUCTION TO OPTIMIZATION OF DECISION-MAKING IN COUPLED, DYNAMIC AND UNCERTAIN PRODUCTION, MAINTENANCE AND PRODUCT DEVELOPMENT ENVIRONMENT	131
ANNEXE III	AFFICHE DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE PRÉSENTÉE AU CONCOURS DE VULGARISATION PAR AFFICHE DE L'ÉTS, FÉVRIER 2017. « PRENDRE DES DÉCISIONS EN TOUTE ASSURANCE ».....	143
ANNEXE IV	QUESTIONNAIRE POUR LE SONDAGE DE CAPTURE DES BESOINS DE L'EP	145
ANNEXE V	RÉSULTATS DU SONDAGE POUR LA CAPTURE DES BESOINS DE L'EP	147
ANNEXE VI	SONDAGE SUR L'IMPORTANCE DES BESOINS DE L'EP	155
ANNEXE VII	RÉSULTAT SONDAGE SUR L'IMPORTANCE DES BESOINS DE L'EP.....	157

ANNEXE VIII	SONDAGE SUR LA COMPARAISON PAR PAIRES DES CRITÈRES.....	169
ANNEXE IX	RÉSULTAT – SONDAGE SUR LA COMPARAISON DES CRITÈRES.....	171
ANNEXE X	MODÈLE DE LA FICHE D'ÉVALUATION DES LOGICIELS AVEC LES POIDS	177
ANNEXE XI	FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL PREACTOR (ALTERNATIVE 1)	179
ANNEXE XII	FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL SAP - APO (ALTERNATIVE 2)	181
ANNEXE XIII	FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL ORACLE – ASCP (ALTERNATIVE 3)	183
ANNEXE XIV	FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL INFOR (ALTERNATIVE 4)	185
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	187

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Méthodes de prise de décision utilisées dans la sélection.....15
Tableau 1.2	Étude comparative des systèmes de planification et d’ordonnancement...20
Tableau 1.3	Thèmes clés du DFQ tels que présenté dans la norme ISO 1635527
Tableau 2.1	Critères de déploiement de la science de la conception dans le cadre de ce projet.....33
Tableau 2.2	Stratégie de recherche35
Tableau 3.1	Liste préliminaire des besoins et des attentes de l’EP64
Tableau 3.2	Liste finale des besoins de l’EP65
Table 4.1	Equivalent operations between standard real numbers and TFN.....80
Table 4.2	Example of fuzzy linguistic variables used to compare criteria and sub criteria.....81
Table 4.3	Average RCI values84
Table 4.4	Linguistic variables used to capture the relevance of the “WHATs”89
Table 4.5	linguistic variables used to evaluate the alternatives regarding criteria92
Table 4.6	Composition of the DMs team.....97
Table 4.7	List of company needs (the WHATs)100
Table 4.8	Final list of APS software criteria and sub criteria102
Table 4.9	Results of the survey addressed to DMs and relevance of company needs104
Table 4.10	The pair-wise comparison matrices of main criteria.....104
Table 4.11	Pair-wise comparison matrices of sub-criteria under main criteria “Usability”105
Table 4.12	The relevance of sub-criteria (the HOWs) to be used as input for HOQ106

Table 4.13	Relative and absolute (Normalized) weight of the HOWs from HOQ.....	108
Table 4.14	Fuzzy evaluation matrix for the alternatives.....	109
Table 4.15	Fuzzy and crisp values of S , R , and Q and rank of alternatives	109
Table 4.16	Comparative ranking obtained from different approaches	110
Table 4.17	Spearman's Rank Correlation Test Statistics.....	112
Tableau 4.18	Comparative ranking of APS software with values of v	112

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 0.1 Processus de réalisation des projets de réparation et de production de l'EP	3
Figure 0.2 Cadre conceptuel de recherche	6
Figure 1.1 Structure des données dans le logiciel Preactor Adapté de Božek (2012)	11
Figure 1.2 Procédure générale de planification.....	18
Figure 1.3 Illustration de la méthode SIPOC	22
Figure 1.4 Illustration d'un VSM Tirée de Ayman et Safwan (2017)	23
Figure 1.5 Illustration d'un diagramme de flux croisés	24
Figure 1.6 Illustration d'un DSM ainsi que du graphe correspondant	25
Figure 1.7 Illustration de la méthode de comparaison par paires Tirée de matériel de cours MEC402	29
Figure 2.1 Cadre de la science de la conception pour la sélection de logiciels de POA Adaptée de Pournader et al. (2015).....	32
Figure 2.2 Étapes de la science de la conception	34
Figure 2.3 Intégration des livrables de la recherche.....	37
Figure 2.4 Méthodologie de la cartographie des processus.....	37
Figure 2.5 Méthodologie de la capture des besoins de l'EP	40
Figure 2.6 Étapes du processus cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins	42
Figure 2.7 Méthodologie de la conception de l'outil amélioré de sélection	44
Figure 2.8 Versions standard et modifiée de la maison de la qualité.....	45
Figure 3.1 Cartographie préliminaire (SIPOC) du processus de planification de l'EP	53

Figure 3.2	Évolution de la valeur de la saturation du modèle du processus de planification57
Figure 3.3	Cartographie finale du processus actuel de planification des opérations de l'EP (diagramme de flux croisés et SIPOC intégrés).....56
Figure 3.4	Cartographie préliminaire (SIPOC) du processus d'ordonnancement de l'EP.....59
Figure 3.6	Cartographie finale du processus actuel d'ordonnancement des opérations de l'EP (diagramme de flux croisés et SIPOC intégrés)61
Figure 3.5	Évolution de la valeur de la saturation du modèle du processus d'ordonnancement.....62
Figure 3.7	Évolution de la saturation du processus de capture des besoins de l'EP ...66
Figure 4.1	Conceptual map of the problem.....72
Figure 4.2	Uncertain linguistic variables graphical representation.....81
Figure 4.3	House of Quality framework (standard and modified version) Adapted from (Bevilacqua et al., 2006).....88
Figure 4.4	The novel proposed methodology for APS software selection.....96
Figure 4.5	Empirical saturation curve - capture of company needs.....99
Figure 4.6	Empirical saturation curve–determination of criteria and sub criteria.....101
Figure 4.7	Modified hierarchical decision structure of the APS software selection problem103
Figure 4.8	Modified HOQ framework bringing together Company needs (the WHATs) and the selection criteria (the HOWs).....107
Figure 4.9	Comparative ranking with different approaches.....111
Figure 4.10	Comparative ranking of APS software with values of v113

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AHP	Analytic Hierarchy Process
APS	Advanced Planning and Scheduling
BOM	Bill Of Materials
DFQ	Déploiement de la fonction qualité
DM	Decision maker
DSM	Design Structure Matrix
EP	Entreprise partenaire
ERP	Enterprise Resource Planning
HOQ	House Of Quality
IDEF	Integrated DEFinition Methods
ISO	International Organization for Standardization
KJ	Jiro Kawakita
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
MRP	Materials Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resources Planning
PC	Partner Company
PI	Preactor International
PLM	Product Lifecycle Management
POA	Planification et Ordonnancement Avancé
QFD	Quality Function Deployment
RAD	Role Activity Diagrams

XX

RID	Role Interaction Diagrams
RO	Repair and Overhaul
SAP	System Applications Products
SAP-APO	System Applications Products–Advanced Planner and Optimizer
SIPOC	Supplier Input Process Output Customer
VSM	Value Stream Mapping

INTRODUCTION

Contexte de recherche

L'un des éléments clés de la compétitivité des entreprises manufacturières est la maîtrise de la gestion de leurs opérations de production dont les éléments centraux sont la planification et l'ordonnancement des opérations. D'un point de vue industriel, la planification et l'ordonnancement des opérations sont deux processus garantissant le meilleur équilibre entre les systèmes d'offre et de demande de l'entreprise. Ils supportent la prise de nombreuses décisions de nature variée, relatives à la répartition des quantités à produire dans l'entreprise ou par les sous-traitants, la définition des niveaux de capacités et l'approvisionnement au niveau des fournisseurs.

Sur un plan pratique et tel que perçus par les professionnels du domaine, la différence principale entre la planification et l'ordonnancement se situe au niveau de l'horizon de planification et des objectifs spécifiques. La planification concerne une vision sur le long terme de l'entreprise en considérant les prévisions de ventes et les volumes à produire pour définir les quantités à produire en fonction de la capacité de l'entreprise. L'ordonnancement quant à lui s'intéresse au moyen terme, mais beaucoup plus au court terme. Au niveau du moyen terme, l'ordonnancement considère les quantités à produire résultant de la planification, les stocks disponibles pour définir les quantités pouvant être effectivement produites. Au niveau du court terme, l'ordonnancement permet en fonction des délais et des priorités de déterminer les dates de début des opérations et dans quel ordre les différents produits sont fabriqués dans les heures et jours qui viennent.

Parmi les nombreuses contraintes prises en compte dans la planification et l'ordonnancement des opérations, on trouve la capacité de production, la satisfaction des clients, les délais de production et d'approvisionnement. Cette pluralité au niveau des contraintes et la quantité importante d'informations à considérer rendent les processus de planification et d'ordonnancement très complexes et ardues à mettre en place. Des algorithmes sont utilisés ainsi que des outils informatiques spécialisés.

Ce travail, réalisé dans un contexte de partenariat entre l'École de technologie supérieure (ÉTS) et une entreprise que nous désignerons par le terme « entreprise partenaire » (EP) porte principalement sur la planification et l'ordonnancement des opérations dans l'EP.

Présentation de l'EP

L'EP est une entreprise du secteur énergétique spécialisée dans la fabrication et l'entretien des moteurs à turbines à gaz dérivés des moteurs d'avions. Elle offre trois types de service à ses clients. Ce sont la production de nouveaux moteurs (NB : *New Build*), la réparation des moteurs usagers (R & O : *Repair and Overhaul*) et le développement de nouveaux moteurs. Le service de développement de moteurs est actuellement à l'arrêt dans l'EP. Il ne sera par conséquent pas abordé dans ce travail. Notons par ailleurs que les services offerts par l'EP à sa clientèle sont gérés comme des projets. Ainsi on aura des projets de réparation et des projets de nouvelle production.

Un projet de réparation complet compte 6 principales phases qui sont principalement (Phase 0) l'analyse des besoins du client et la préparation du projet, (Phase 1) l'investigation, le démontage et l'inspection, (Phase 2) la réparation proprement dite, (Phase 3) l'assemblage, (Phase 4) le test et l'envoi du moteur au client et (Phase 5) la fermeture du projet (Figure 0.1). Ces différentes phases sont regroupées sous 5 statuts appelés *Gate* et numéro de 0 à 5. L'avancement du projet est constaté par la *gate* dans laquelle le projet se trouve.

Les projets de nouvelle production font référence à l'assemblage de moteurs. Ils utilisent le même processus que les projets de réparations, mais commencent à la phase (3) correspondant à l'assemblage.

Problématique et objectifs de recherche

Actuellement, l'EP utilise MS Project et un ensemble de fichiers Excel pour la planification et l'ordonnancement de ses opérations. En raison de la nature complexe de son système manufacturier (niveau d'incertitude élevé et compétences d'employés variées), la planification et l'ordonnancement restent très manuels, ardues, et les résultats entachés

d'erreurs. Les décisions qui en découlent ne sont pas toujours optimales, entraînant ainsi de faibles taux de productivité et des coûts élevés de production. D'autres conséquences de cette situation sont la perte de plusieurs commandes potentielles ou contrats et des difficultés à soutenir la croissance de l'entreprise. De plus l'analyse des scénarios du type « *what if* » et l'optimisation des opérations sont pratiquement impossibles à réaliser ou exigent des efforts et des délais très importants de la part des responsables de la planification et de l'ordonnancement.

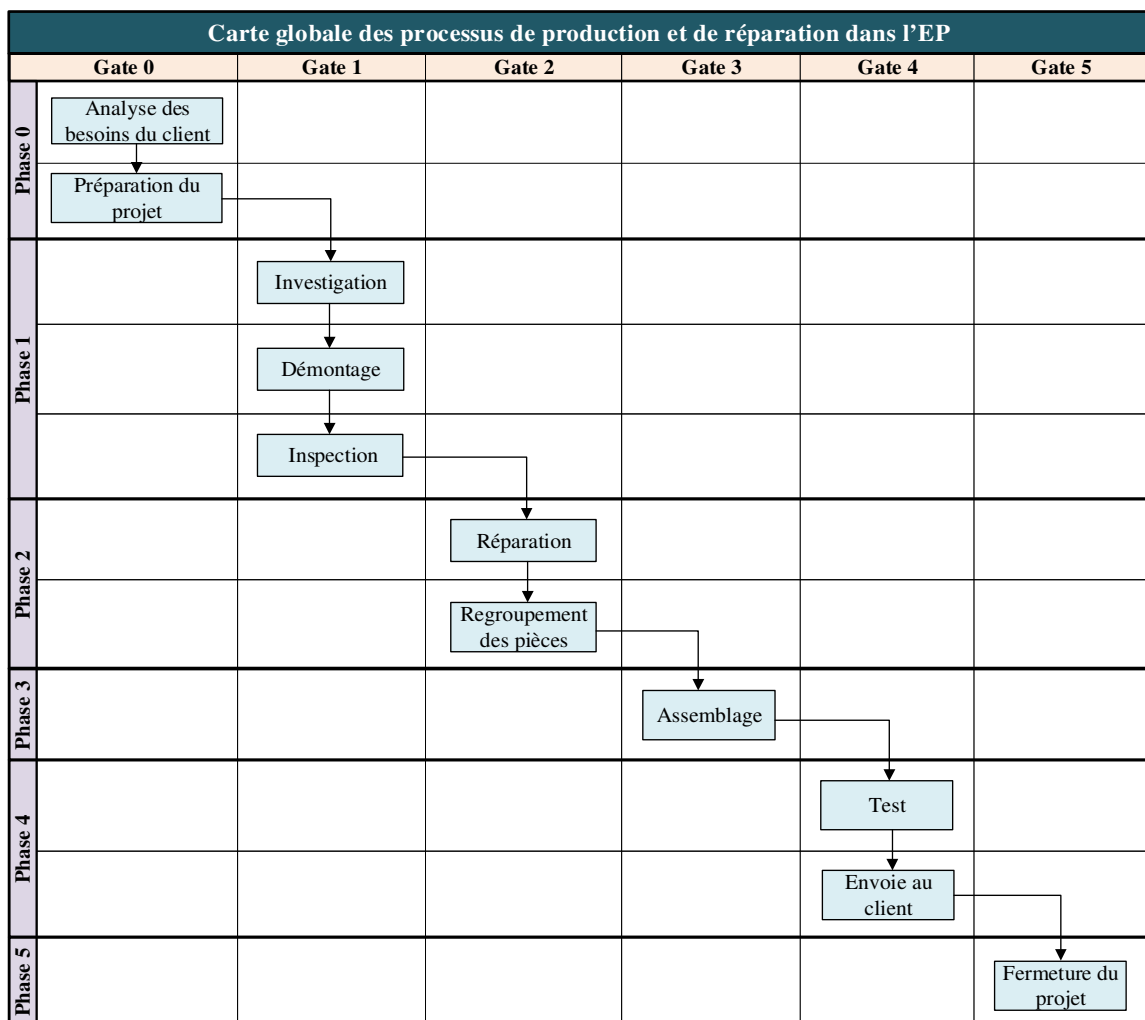


Figure 0.1 Processus de réalisation des projets de réparation et de production de l'EP

Au vu de cette situation, l'EP a sollicité l'appui de l'École de technologie supérieure (ÉTS) à travers un projet collaboratif financé par le CRSNG en vue d'améliorer la planification et l'ordonnancement de ses opérations. Parmi les pistes de solution qui s'offraient à l'EP (i) l'optimisation de la planification et de l'ordonnancement à l'aide de la programmation linéaire en nombre mixte multi périodes, (ii) le développement et l'implantation d'un système personnalisé de planification et d'ordonnancement des opérations et (iii) l'implantation d'un logiciel commercial de POA, L'EP a opté pour la piste (iii). Au vu de l'effort conséquent à fournir pour l'implantation d'un logiciel de POA et des délais restreints du projet de maîtrise, cet objectif a été divisé en plusieurs sous-objectifs. C'est ainsi que dans le cadre de notre maîtrise, l'objectif retenu est de déterminer parmi les logiciels commerciaux de POA disponibles sur le marché celui qui satisfait le mieux les besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement.

La POA est une approche de planification et d'ordonnancement relativement nouvelle permettant de planifier les besoins en quantité et en qualité de la clientèle en considérant des ressources matérielles et humaines à capacités finies (Hvolby & Steger-Jensen, 2010). Elle est déployée dans presque tous les secteurs d'activités manufacturiers (usine d'assemblage, de production, de réparation ou de développement de produits) et se retrouve au cœur de nombreux logiciels commerciaux de planification et d'ordonnancement.

Ces logiciels commerciaux de POA sont très souvent privilégiés par les industriels au détriment des solutions académiques personnalisées. Il en existe un très grand nombre sur le marché ayant chacun ses forces et ses faiblesses et qui sont plus ou moins adaptés à un type d'organisation, de service ou de modèle de production manufacturier. Pour bon nombre d'entreprises, la vision actuelle en termes de planification et d'ordonnancement des opérations passe par l'implantation d'un de ces logiciels. Seulement, lorsque vient le moment d'y aller, la question du choix du système le mieux adapté aux réalités stratégiques et opérationnelles de l'entreprise se pose. L'entreprise doit sélectionner parmi les nombreux logiciels de POA disponibles celui qui répond le mieux à ses contraintes. Sadowski, R. (1998) s'est intéressé à la question et a apporté quelques pistes d'orientation pour guider les

industriels dans ce choix. Il a notamment mis en exergue cinq critères clés à considérer qui sont les fonctionnalités, l'intégration, la technologie, la plateforme et le prix. Seulement dans ce travail de Sadowski, R. (1998), le problème n'est pas traité en profondeur. En effet, Sadowski, R. (1998) s'est limité à l'énoncé théorique des grandes actions à entreprendre dans le processus de sélection sans détailler les étapes et la méthodologie de sélection. La littérature liée à la POA se concentre autour du développement des algorithmes et des approches mathématiques. On ne trouve que peu de travaux traitant de la sélection des logiciels de POA. Aucune méthodologie de sélection des logiciels de POA n'a été développée à ce jour.

L'objectif principal de cette recherche est de déterminer parmi les logiciels commerciaux de POA disponibles sur le marché celui qui satisfait le mieux les contraintes opérationnelles et fonctionnelles de l'EP exprimées en besoins. Cet objectif peut être divisé en trois sous-objectifs qui sont :

- Cartographier les processus de planification et d'ordonnancement des opérations permettant de comprendre la situation dans l'EP et les limites des processus;
- Capturer des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations;
- Concevoir et appliquer au cas de l'EP une méthodologie de sélection adaptée aux logiciels de POA. Un élément important ici est la détermination des critères et des sous-critères de sélection des logiciels de POA.

Le cadre de recherche de ce mémoire est présenté ci-dessous (Figure 0.2).

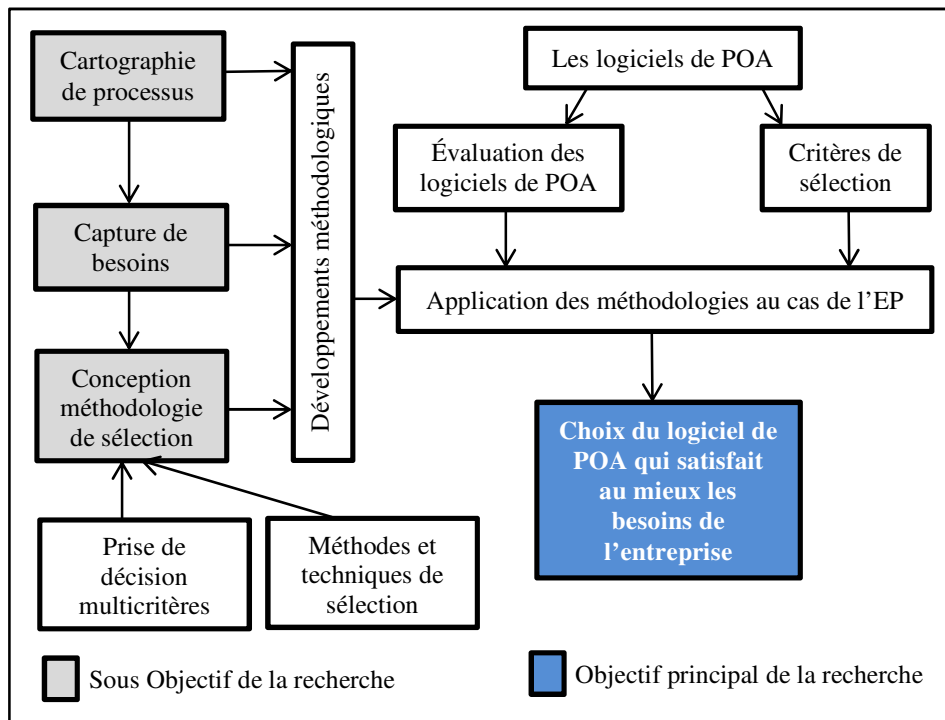


Figure 0.2 Cadre conceptuel de recherche

Structure du mémoire

La suite du mémoire est structurée comme suit.

- Le premier chapitre passe en revue les travaux relatifs à la planification et à l'ordonnancement en environnement manufacturier avec un accent sur les logiciels de planification et d'ordonnancement avancé. L'ensemble des méthodes et des techniques utilisées pour la résolution de la problématique y sont également présentées ainsi que leurs avantages et leurs limites.
- Le deuxième chapitre présente la méthodologie générale de la recherche et la méthodologie utilisée pour l'atteinte de chacun des sous-objectifs de la recherche. Il s'agit de la cartographie des processus, la capture des besoins et la conception d'une méthodologie de sélection des logiciels de POA.
- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus en appliquant les méthodes développées au cas de l'EP. Ces résultats concernent la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement ainsi que la capture des besoins.

- Le quatrième chapitre écrit en anglais est un article scientifique soumis le 04 avril 2018 au journal « *Computers & Industrial Engineering* ». Ce chapitre présente la méthodologie de sélection des logiciels de POA conçue ainsi que les résultats obtenus suite à son application au cas de l'EP. La méthodologie s'appuie sur l'intégration d'une version modifiée du DFQ et deux techniques de prise de décision multi critères qui sont l'AHP (l'Analyse hiérarchique de processus) et la méthode VIKOR.
- Le cinquième chapitre discute des limitations et des critères de rigueur scientifique de l'étude (transférabilité, validité, confirmabilité, fidélité, etc.).
- Enfin, la conclusion recense les contributions, les limitations et les recommandations induites par cette étude.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Introduction

Le présent chapitre passe en revue un ensemble de travaux antérieurs en relation avec la problématique de recherche et présente une variété d'outils, de modèles, de techniques et d'approches nécessaires à la résolution du problème de recherche. La revue est organisée autour des éléments clés du cadre conceptuel de la recherche (Figure 0.2) qui sont les trois sous-objectifs de la recherche.

1.2 Planification et ordonnancement

La planification peut être vue comme l'organisation dans le temps de la réalisation d'objectifs. Elle est fonction du domaine d'activité, des moyens mis en œuvre (ressources) et de la durée considérée (horizon de planification). Dans le domaine manufacturier, il est généralement considéré deux types de ressources que sont les ressources matérielles et les ressources humaines. La durée de planification est quant à elle divisée en trois horizons qui sont le long terme, le moyen terme et le court terme. L'objectif de la planification dans un pareil environnement peut prendre différentes formes parmi lesquelles on retrouve très souvent la maximisation des profits et quelques fois la minimisation du coût d'exploitation prenant en compte les contraintes opérationnelles et la demande des clients. Ainsi, la planification permettra d'établir un ensemble de règles guidant la prise de décision concernant la réduction des délais ou des encours, l'optimisation du taux de production, la satisfaction de la demande des clients et l'allocation optimale des ressources.

Parmi les premiers systèmes de planification développés dans les années 1970s, on retrouve les systèmes MRP (planification des besoins matériels) qui ont évolué dans le temps pour produire les systèmes MRP II (Planification des ressources manufacturières). Aujourd'hui,

on retrouve aussi les systèmes ERP (Planification des ressources d'entreprise), considérés comme successeurs des systèmes MRP II.

Les systèmes MRP ont été développés pour des processus de base tels que la planification de la production et la gestion des stocks. Les contraintes de capacités, les considérations financières et les prévisions n'y sont pas prises en compte. Le MRP II est une amélioration du MRP permettant de couvrir les limites mentionnées ci-dessus. Le MRP permet principalement de considérer les contraintes sur les capacités finies de production (limite de la capacité de production). L'ERP quant à lui est un système intégré qui non seulement fournit une visibilité profonde dans les processus de fabrication (à l'image des systèmes MRP II), mais prend également en charge des aspects importants de la gestion d'une entreprise (gestion des projets, comptabilité, chaîne d'approvisionnement, etc.).

Récemment, un nouveau concept de planification a émergé. Il s'agit des systèmes APS qui sont une réponse aux limites des systèmes MRP II. L'APS peut être défini et expliqué par des perspectives différentes, mais communément, l'APS est considéré comme une extension de l'ERP (Patrik, Linea, & Martin, 2007). L'APS traite de l'allocation optimale des ressources de production en environnement manufacturier de produits à plusieurs niveaux d'assemblage tout en assurant que les contraintes de production soient satisfaites et que l'objectif principal de production soit atteint (Chen, Ji, & Wang, 2011).

Ces systèmes APS utilisent une structure de données plus ou moins standard présenté à la figure 1.1 ci-dessous. Cette structure de données s'appuie sur les concepts d'opération, d'approvisionnement, d'ordre de travail, d'ordre de vente ou de demande, de ressource et de groupe de ressources. En effet, la demande est divisée en plusieurs ordres de travail qui correspondent à un élément précis à produire. Les ressources sont regroupées par fonction et gérées comme des groupes de ressources. Les ordres de commande accompagnent le processus de fabrication en assurant l'approvisionnement en pièces (celles qui ne sont pas disponibles en stock)

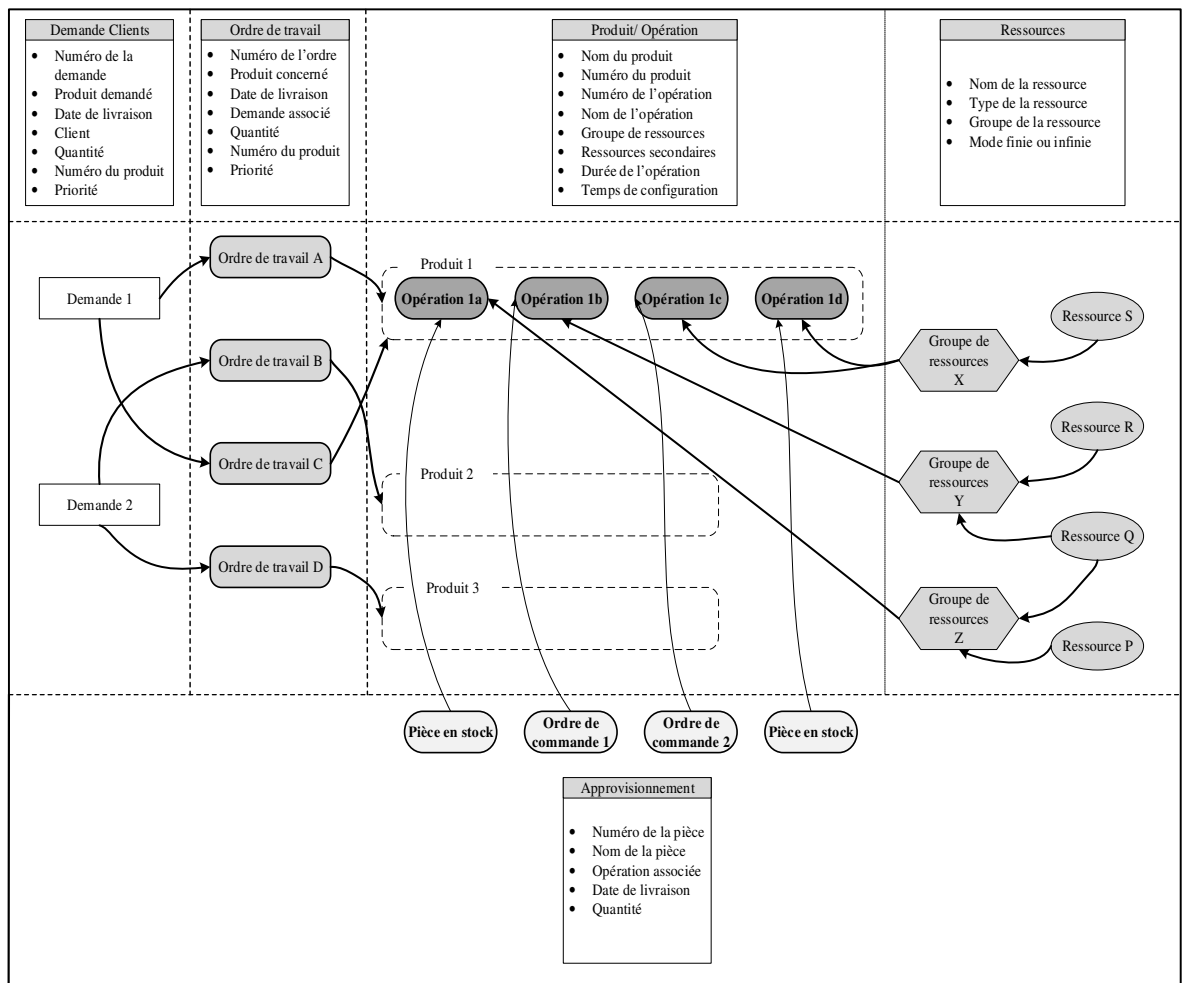


Figure 1.1 Structure des données dans le logiciel Preactor
Adapté de Božek (2012)

Les systèmes APS sont particulièrement adaptés aux environnements manufacturiers complexes avec des priorités concurrentes et un grand nombre de facteurs de production contrairement aux systèmes MRP II. En effet, dans les systèmes MRP II, les ressources et les capacités sont affectées de façon dissociée et selon une logique séquentielle, débouchant très souvent sur des plans infaisables. Cette logique séquentielle est par ailleurs très vite limitée lorsque le nombre de facteurs devient trop important en raison de la dépendance factorielle de la taille de l'espace de la solution sur le nombre de ressources et de produits. Tout ceci ne

permet pas de produire des plans en temps réel. De plus les systèmes MRP tout comme les systèmes ERP sont des systèmes réactifs contrairement aux systèmes APS qui sont proactifs. Par ailleurs, les chercheurs travaillent continuellement à perfectionner cette nouvelle approche qu'est l'APS pour permettre aux industriels de gagner davantage en visibilité et en maîtrise sur leurs opérations de production. C'est ce à quoi Chen et al. (2011) font référence dans leur travail. Ils mettent en exergue les manquements observés dans le MRP, qui est l'une des approches traditionnelles de planification des ressources. En effet, Chen et Ji (2007) dénoncent le fait que le MRP ne prend pas en compte les contraintes sur la capacité, ne considère pas la variabilité sur les délais (ils sont considérés comme fixes) et ne considère pas la séquence de réalisation des opérations. Ceci a plusieurs conséquences au niveau de l'atelier telles que les retards dans la production et la variation de la charge de travail. D'autre part, il n'y a pas de garantie qu'une cédule de réalisation des opérations réaliste existe pour le plan de production découlant du MRP. Pour Chen et Ji (2007), le MRP et l'APS ont des liens et devraient être intégrés ensemble pour générer des plans d'exécution réalistes et optimales pour l'atelier. Ils développent donc un modèle de programmation linéaire en nombre mixte qui sera couplé au MRP pour l'optimisation de la production et des opérations au niveau de l'atelier. Leur modèle permet de minimiser les pertes de temps de production (*production idle time*) et par conséquent de maximiser le temps d'utilisation des machines tout en respectant les contraintes de capacité, la séquence des opérations et les délais de production. Du même coup, un gain en visibilité sur les encours est possible. Ce travail de Chen et Ji (2007) est poursuivi par Örnek, Özpeynirci, et Öztürk (2010). En effet, Örnek et al. (2010) introduisent une considération supplémentaire aux hypothèses de Chen et Ji (2007) qui est la possibilité qu'une tâche soit faite sur plusieurs machines au choix (flexibilité des machines). Leurs objectifs restent les mêmes que ceux de Chen et Ji (2007), avec un avantage résidant dans le fait que cette considération rapproche davantage le modèle de la réalité industrielle.

Toujours dans le même esprit que Chen et Ji (2007), Öztürk et Ornek (2014) travaillent à proposer un modèle de planification permettant de surmonter les lacunes observées dans le MRPII (planification des ressources de production). Ils soulèvent le fait que le volet

planification du MRPII repose sur des considérations pas très solides telles que les capacités de production infinies, la disponibilité des pièces au bon moment, en bonne quantité et de bonne qualité pour pouvoir fournir des cédules adaptées. De plus, les temps de production y sont considérés comme fixes et la logique de planification *backward* est utilisée. D'après Öztürk et Ornek (2014), toutes ces considérations rendent la planification inefficace. Comme Chen et Ji (2007) et Örneke et al. (2010), Öztürk et Ornek (2014) utilisent la programmation linéaire en nombres mixtes comme méthode de résolution. Ils utilisent également la logique du « problème du commerçant voyageur » pour la prise en compte des séquences dans l'exécution des tâches dans leur modèle. Un plus apporté par Öztürk et Ornek (2014) est la prise en compte dans leur modèle du temps d'exécution ou de production.

Concernant la fonction objectif, Chen et Ji (2007) et Örneke et al. (2010) proposent des modèles qui minimisent uniquement les coûts de production tandis que Öztürk et Ornek (2014) et Chen et al. (2011) englobent dans le coût à minimiser, les coûts de pénalités de retard de livraison, de précocité de fin et les coûts de pertes en temps de production (*idle production time*). Ils considèrent qu'un produit qui est complété longtemps avant sa date de livraison devra engendrer des coûts d'inventaires. On peut aussi distinguer les modèles de planification qui prennent en compte le temps de transfert des tâches et le temps de configuration des machines. Chen et Ji (2007) et Örneke et al. (2010) négligent ces éléments dans leur modèle tandis que Öztürk et Ornek (2014) développent deux modèles dans leur travail, dont un de base qui néglige ces temps de transfert des tâches et de configurations des machines et un autre plus avancé qui les prend en compte. Ceci a pour but comme mentionné plus haut de proposer des modèles plus proches des réalités de l'industrie.

Par ailleurs, dans les approches conventionnelles de planification, la planification et l'ordonnancement sont deux tâches séparées et effectuées une à la fois. Sans intégration de ces deux processus, la planification efficace des activités dans l'atelier ne saurait être optimale. C'est ce à quoi s'attellent la plupart des travaux en matière d'approche de planification et d'ordonnancement à l'exemple de Lian, Zhang, Gao, et Li (2012),

Mauergauz (2016), Zhang, Tang, Peng, Tao, et Jia (2016), Mohapatra, Nayak, Kumar, et Tiwari (2014). Le caractère stochastique des événements et des activités n'est pas très souvent pris en compte dans ces travaux qui reposent en majeure partie sur des considérations déterministes. L'accent est mis sur les formulations déterministes qui ne cadrent pas toujours avec la réalité des industries (Haddadzade, Razfar, & Zarandi, 2014). Dans leurs travaux, Pulat, Sarin, et Uzsoy (2014), Hemmati, Saboori, et Jirdehi (2017), Haddadzade et al. (2014), Yue et You (2013) s'attèlent à introduire cette considération d'événements stochastiques dans le développement de leur modèle de planification et d'ordonnancement. Haddadzade et al. (2014) ont par exemple présenté une procédure d'intégration des processus de planification et d'ordonnancement avec des durées d'exécution des tâches stochastiques, afin de mieux représenter l'environnement de production. L'une des principales complications avec ces considérations est le temps de calcul machine pour la résolution. Dans le cas de Haddadzade et al. (2014) malgré cette considération, ils ont développé un algorithme hybride de résolution qui produit des résultats dans un délai acceptable. De plus Haddadzade et al. (2014) ont également développé un modèle déterministe qu'ils ont comparé au modèle stochastique. Ils concluent que les plans issus du modèle stochastique sont beaucoup plus robustes (réagissent mieux aux changements ou aux perturbations) que ceux issus du modèle déterministe.

À côté de ces travaux sur la POA, on remarque de nos jours l'existence sur le marché de plusieurs logiciels commerciaux de POA destinés aux entreprises manufacturières. Cette pluralité impose aux chercheurs de se pencher sur la conception de méthodologies de sélection afin d'assister les entreprises qui désirent implanter ces logiciels.

1.3 Conception d'une méthodologie de sélection de logiciels de POA

1.3.1 Méthode de prise de décision

Dans la littérature on retrouve plusieurs techniques utilisées pour la prise de décision. Ces méthodes peuvent être regroupées en 4 groupes qui sont (i) les méthodes de prise de décision multi critère (MCDM), (ii) la programmation mathématique, (iii) l'intelligence artificielle et

(iv) les approches intégratives (Hanine, Boutkhoul, Tikniouine, & Agouti, 2016). Ces méthodes peuvent aussi être regroupées selon qu'elles utilisent une logique descriptive aboutissant à l'établissement d'un ordre (méthodes ordinales) ou qu'elles utilisent une logique quantitative (méthodes cardinales). Le tableau 1.1 regroupe les méthodes les plus utilisées dans la littérature selon leurs catégories.

Afin de réduire l'incertitude dans ces différentes méthodes, les nombres réels sont parfois remplacés par les nombres flous (Ayağ & Özdemir, 2007) qui utilisent les variables linguistiques. On distingue plusieurs types de nombres flous (triangulaire, trapézoïdale, intervalle, intuitionniste, etc.). Dans la littérature on retrouve également les méthodes intégratives qui regroupent différentes méthodes de différentes catégories.

Tableau 1.1 Méthodes de prise de décision utilisées dans la sélection

	(i) MCDM	(ii) Méthodes de programmation mathématique	(iii) Méthodes d'intelligence artificielle	Méthodes ordinales	Méthodes cardinales
AHP (<i>Analytical hierarchy Process</i>)	x				x
ANN (<i>Artificial Neural Network</i>)			x		x
ANP (<i>Analytical Network Process</i>)	x				x
ELECTRE (<i>Élimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>)	x			x	
PROMETHEE (<i>Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations</i>)	x			x	
TOPSIS (<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>)	x			x	
VIKOR (<i>Visekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje</i>)	x			x	
DEA (<i>Data Envelopment Analysis</i>)		x			x
Programmation linéaire		x			x
Programmation multi objective		x			x

Le DFQ est également utilisé quelquefois dans la littérature pour résoudre les problèmes de sélection. L'article scientifique présenté au chapitre 4 de ce mémoire détaille l'ensemble de ces méthodes de sélection et présente des travaux de la littérature qui s'y sont intéressés.

1.3.2 Sélection et implantation de logiciels de gestion manufacturière

Dans la littérature, les problèmes de sélection et d'implantation des logiciels de gestion manufacturière ont largement été abordés. De façon générale Sen, Baracli, Sen, et Basligil (2009) ont développé un modèle d'aide à la décision pour la sélection de logiciels de gestion manufacturière en considérant des objectifs qualitatifs et quantitatifs dans un modèle de programmation mathématique multiobjectif. D'un point de vue plus spécifique, les logiciels ERP ont particulièrement été étudiés par les chercheurs. Par exemple Torsten et Sven (2013) ont émis des recommandations pour la sélection, la mise en œuvre et l'exploitation durable de systèmes ERP en utilisant le concept ARIS (en anglais *Architecture of Integrated Information Systems*). Yazgan, Boran, et Goztepe (2009) ont de leur côté mis en place une méthode pour la sélection de logiciels ERP utilisant les réseaux neuronaux artificiels. Concernant l'implantation des systèmes ERP, Gargeya et Brady (2005) se sont intéressés au plus célèbre d'entre eux qui est SAP (en anglais *System Application and Product*). Gargeya et Brady (2005) ont analysés 44 projets d'implantation du système SAP, documentés dans la littérature et ils ont identifiés six points clés pouvant témoigner du succès ou de l'échec de l'implantation du système SAP dans une entreprise. Comme résultats, Gargeya et Brady (2005) ont trouvé que le manque de culture appropriée et le manque de préparation organisationnelle (interne) étaient les facteurs contribuant le plus à l'échec de l'implantation de SAP dans 15 entreprises. Par contre Gargeya et Brady (2005) ont trouvé que la présence d'approches de gestion de projet, d'une culture appropriée et d'une préparation organisationnelle (interne) est le facteur qui était le plus important à la réussite de l'implémentation de SAP dans 29 organisations. Ce travail de Gargeya et Brady (2005) pourrait s'étendre à l'ensemble des systèmes ERP, vu leur logique quasi identique.

Concernant les autres types de logiciels de gestion manufacturière tels que le PLM (en anglais *Product Lifecycle Management*), les logiciels de simulation, on retrouve aussi des travaux qui en parlent dans la littérature. Par exemple Eastham, Tucker, Varma, et Sutton (2014) ont développé une approche pour aider à la sélection du logiciel de gestion du cycle de vie du produit (PLM). Azadeh, Shirkouhi, et Rezaie (2010) ont développé une méthodologie de prise de décision pour l'évaluation et la sélection des logiciels de simulation.

Cependant, très peu d'attention a été accordée dans la littérature à la sélection des logiciels de POA. Comme la plupart des logiciels de gestion manufacturière, il existe un grand nombre de logiciels de POA disponibles sur le marché, chacun avec ses propres forces et faiblesses. Il y a donc un problème de sélection pour les entreprises souhaitant implanter une telle solution. Les principaux travaux qui traitent de la sélection et de l'implantation des logiciels de POA que nous avons trouvée dans la littérature sont Stadtler et Kilger (2005), Sadowski (1998), Hagazi et Guo (2013), et Božek (2012).

Stadtler et Kilger (2005) posent les bases des processus de planification et d'ordonnancement et définissent en cinq étapes le processus de validation ou d'analyse d'un système de planification et d'ordonnancement. En d'autres termes, Stadtler et Kilger (2005) définissent la façon dont devraient être déployés les systèmes de planification et d'ordonnancement. Leur approche est composée de sept étapes principales illustrées à la figure 1.2 ci-dessous et décrites comme suit.

1- La construction du modèle : un modèle de l'atelier de production doit capturer les propriétés spécifiques du procédé de production et les flux de matières correspondants de façon à permettre l'extraction des cédules de production faisables. Seuls les éléments critiques parmi les ressources (goulots d'étranglement potentiels dans le processus de production) doivent être modélisés explicitement, dans la mesure où la productivité n'est influencée que par ces derniers.

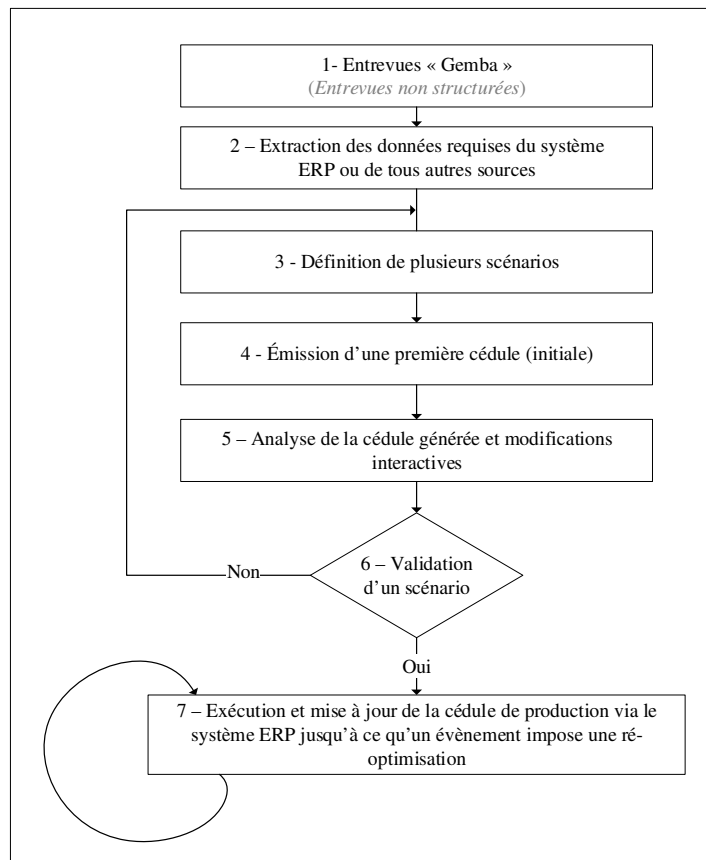


Figure 1.2 Procédure générale de planification
Adapté de Stadtler et Kilger (2005)

2- L'extraction des données : Les systèmes de planification et d'ordonnancement utilisent des données provenant généralement des sources externes tels que l'ERP, le plan directeur de production (plan définissant l'échéancier des quantités à produire pour chaque produit fini), les ventes prévisionnelles (pour la planification à long terme et/ou moyen terme) et la demande des clients (pour l'ordonnancement – planification à court terme). Seulement une fraction des données disponibles dans ces modules est nécessaire. Il faut donc déterminer lesquelles de ces données seront requises pour le système de planification et d'ordonnancement.

3- La définition d'un ensemble de scénarios : En fonction de l'état courant et futur du système de production, le responsable de la planification devra modifier des données en

fonctions des attentes et des objectifs stratégiques, tactiques ou opérationnels de l'entreprise. Ainsi plusieurs scénarios seront mis en place (cette étape est optionnelle).

4- Émission d'une première cédule : Parmi les différents scénarios analysés, le responsable de la planification devra adopter un choix qui sera utilisé comme scénario de base.

5- L'analyse de la cédule de production générée ainsi que les modifications interactives : Chacune des cédules obtenues pour chaque scénario sera évaluée. Si la cédule est infaisable, le responsable de la planification devra émettre quelques actions de correction (équilibrer les charges et la capacité de l'atelier de production, lisser la demande, etc.). De plus les cédules produites pourront être améliorées par le responsable de planification de par son expérience.

6- La validation du scénario de production : Une fois certain d'avoir évalué tous les scénarios plausibles, le responsable de la planification devra choisir le plus prometteur des scénarios.

7- L'exécution de la cédule retenue : Le plan de production sélectionné sera par la suite transmis aux différents modules pour exécution (ce sont très souvent le MRP, l'ERP et le système de planification des transports).

Sadowski (1998) s'est intéressé au problème de sélection des logiciels de POA et a mis en exergue cinq critères qui doivent guider le choix d'un système de planification et d'ordonnancement. Ce sont les fonctionnalités, l'intégration, la technologie, la plateforme et le prix. Pour Sadowski (1998), la meilleure façon de choisir un logiciel de POA est de développer un modèle réduit de l'entreprise comprenant tous les éléments clés du système manufacturier et de les tester dans différents logiciels de planification. Un cas d'étude comparative dans ce sens a été réalisé par Božek (2012) sur un ensemble de logiciels de POA qui sont SAP - APO, Preactor, Tuppas, Taylor, Jobpack, Preactor 500 APS, Lekin et

Lisa. Le tableau 1.2 ci-dessous récapitule les résultats obtenus par Božek (2012) à l'issue de cette étude comparative. Božek (2012) utilise les symboles + (fonctionnalités disponibles), - (fonctionnalités indisponibles), ? (Pas d'information directe) et n/a (Non applicable).

Tableau 1.2 Étude comparative des systèmes de planification et d'ordonnancement
Adapté de Božek (2012)

Fonctionnalités du logiciel	SAP APO	Tuppas	Taylor	Jobpack	Preactor 500APS	Preactor Express	Lekin	Lisa
Diagramme de Gantt interactif	+	+	+	+	+	+	+	+
Éditeur de calendrier des ressources	+	+	+	+	+	+	-	-
Générateur de rapports	+	?	+	+	+	+	-	-
Algorithme de planification avancé	+	+	+	?	+	-	+	+
Support pour les routines des clients	+	?	+	?	+	-	+	+
Interface de données externes	+	+	+	+	+	-	+	+
Intégration à ERP, MRP, MES	+	+	+	+	+	-	-	-
Démo, version d'essai	-	?	+	+	+	-	n/a	n/a
Version Express	-	-	-	-	-	+	n/a	n/a

Par ailleurs Božek (2012) soulève le fait que la majeure partie des versions commerciales des logiciels de planification et d'ordonnancement possède un algorithme de planification avancé et que ces derniers permettent également des extensions personnalisées.

1.4 Cartographie des processus

La cartographie des processus est une manière graphique de représenter l'activité d'une entreprise, d'une partie d'une entreprise ou de tout type d'organisation. C'est également un outil essentiel à la réingénierie des processus qui permet à l'utilisateur d'avoir une vue d'ensemble du processus (Higson, 2007), (Hunter, 1994). Elle est principalement destinée à l'amélioration continue au sein des entreprises. Hunter (1994) souligne d'ailleurs l'erreur commise par plusieurs entreprises lorsqu'elles limitent la cartographie des processus à des documents de l'ISO-9000 au lieu de l'utiliser pour ce qu'elle est, à savoir un puissant outil d'amélioration. Quelques fois, elle peut être combinée aux technologies de simulation pour une intégration globale des technologies d'ingénierie de l'entreprise (Harrell & Field, 1996).

La littérature est très étoffée en ce qui concerne la cartographie des processus, souvent nommée sous le thème modélisation de processus. On dénombre plusieurs modèles développés, parmi lesquelles les plus connues et utilisées sont le SIPOC (en anglais *Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers*), le diagramme de flux simples et de flux croisés et le VSM (en anglais *Value Stream Mapping*), le DSM (en anglais *Design structure Matrix*).

1.4.1 Le SIPOC

Le SIPOC désigne les fournisseurs, les entrées, le processus, les sorties et les clients d'un système. Le SIPOC est une méthodologie d'amélioration des processus s'appuyant sur la représentation schématique des éléments clés d'un processus, nommément qui sont notamment les fournisseurs, les intrants du processus, le processus lui-même et les extrants du processus et les clients (ceux qui reçoivent les extrants du processus) (Parkash & Kaushik, 2011). Cet outil analytique est utilisé principalement pour la compréhension et l'amélioration d'un processus particulier au sein d'une entreprise. Le SIPOC est un outil d'amélioration continue, très utilisé dans la littérature en raison du fait qu'il est relativement simple à déployer comparativement au VSM ou au DSM. Quelques fois, il est combiné à d'autres outils tels que la méthode six sigma pour l'amélioration des processus (Tetteh & Uzochukwu) (Pratima & Rajiv Kumar, 2014). La figure 1.3 ci-dessous illustre un déploiement du SIPOC.

1.4.2 Le VSM

Le VSM est une technique d'amélioration d'entreprise permettant de visualiser l'ensemble du processus de production et d'identifier les pertes et leurs origines à travers la représentation du flux d'informations et de matières (Rother & Shook, 2003). Elle diffère

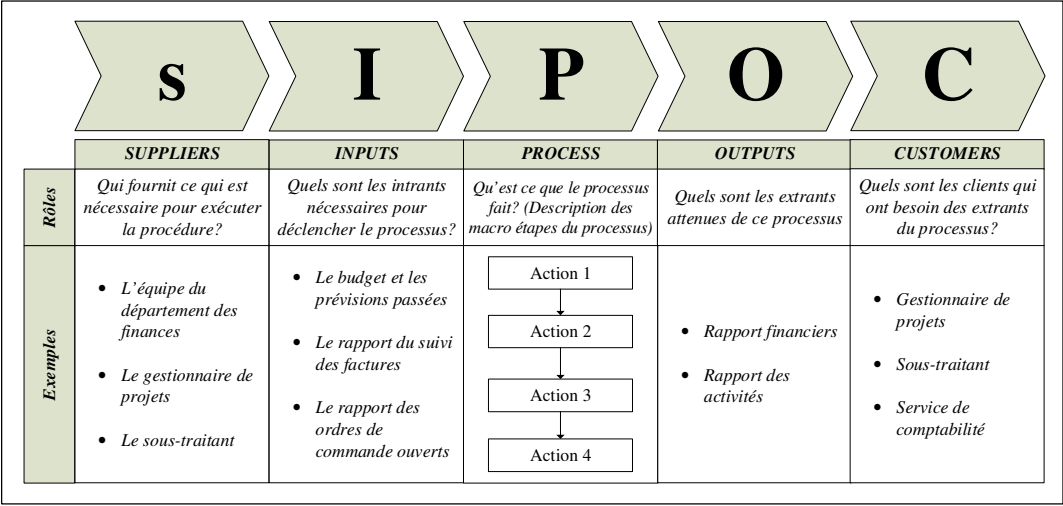


Figure 1.3 Illustration de la méthode SIPOC

des autres techniques de représentation de processus du fait qu'elle permet de modéliser en plus du flux d'informations, le flux de matières. Elle est plus adaptée au processus de production (processus débouchant sur un produit fini) qu'au processus de service. De plus elle demande plus d'effort dans sa mise en œuvre ainsi qu'une certaine expertise. Le VSM est utilisé très souvent dans le but d'identifier les pertes de production et leurs origines (Ayman & Safwan, 2017). D'après Sullivan, McDonald, et Van Aken (2002), le VSM crée un langage commun à propos d'un processus de production, permettant ainsi de prendre des décisions justifiées pour l'amélioration du système. Cette technique a été utilisée dans plusieurs secteurs d'activités à l'instar du secteur aérospatial (Browning & Heath, 2009), du secteur manufacturier (Singh, Choudhury, Tiwari, & Maull, 2006) ou encore du secteur de l'automobile (Lander & Liker, 2007). Le VSM est très souvent couplé à la simulation, permettant ainsi d'avoir une approche plus holistique de gestion des processus (Mohamed, Khaled, & Aziz, 2011). La figure 1.4 ci-dessous illustre un résultat obtenu de l'application du VSM.

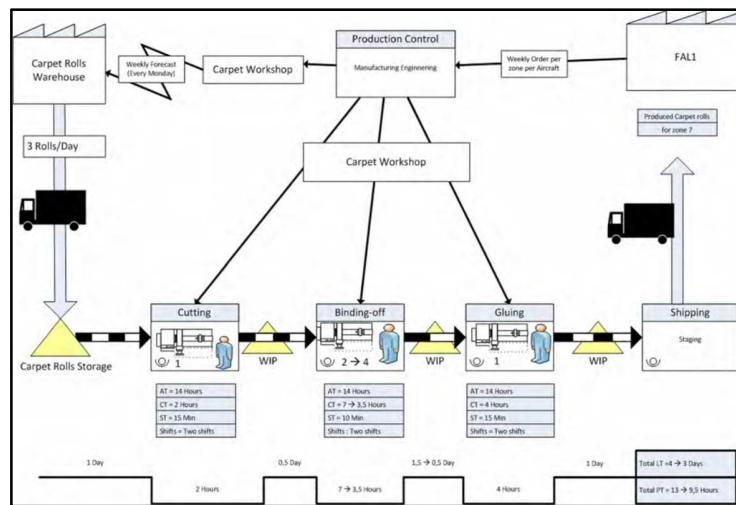


Figure 1.4 Illustration d'un VSM
Tirée de Ayman et Safwan (2017)

1.4.3 Le diagramme de flux simples et de flux croisés

Le diagramme à flux est une méthode de représentation de processus qui présente visuellement le flux de données du processus à travers un système de traitement d'informations, la représentation des opérations effectuées dans le système et la séquence dans laquelle elles sont effectuées. C'est l'une des méthodes les plus anciennes pour la représentation détaillée des processus. Elle est également beaucoup utilisée pour son caractère visuel (utilisation de formes diverses pour la représentation des activités, des décisions, des informations et des événements), qui le rend relativement facile à déchiffrer, à interpréter et à utiliser. De plus, son déploiement demande beaucoup moins d'effort comparativement aux autres méthodes. Le diagramme de flux est plus adapté à la description des processus d'un point de vue fonctionnel et organisationnel. Ainsi, elle concerne très souvent les processus de haut niveau, où le besoin en détail très précis n'est pas attendu. Une des variantes du diagramme de flux est le diagramme de flux croisés, qui lui insère dans la représentation les entités responsables de chaque étape et de chaque action du processus. La figure 1.5 ci-dessous illustre un diagramme de flux croisés.

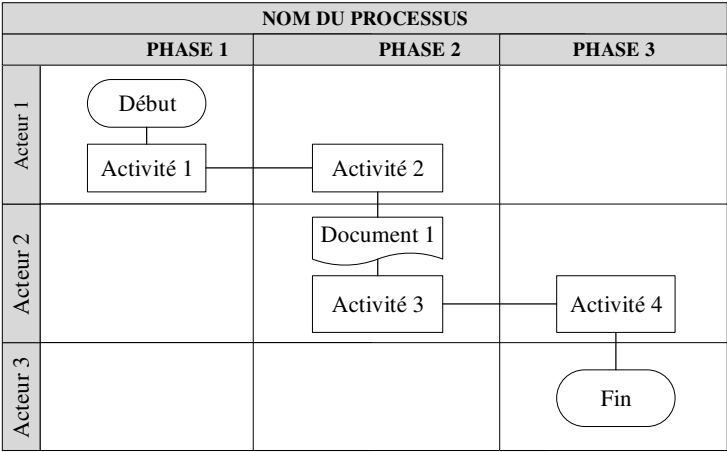


Figure 1.5 Illustration d’un diagramme de flux croisés

1.4.4 Le DSM

Le DSM est un outil de modélisation de processus utilisé pour représenter les éléments composant un système ainsi que leurs interactions, mettant ainsi en évidence l’architecture du système (Knovel, Eppinger, & Browning, 2012). Le DSM est particulièrement adapté pour le développement de systèmes d’ingénierie complexes et est principalement utilisé dans le domaine de la gestion de l’ingénierie (Knovel et al., 2012). Le DSM est également adapté à l’analyse des cycles de processus et à la simulation (Levardy & Browning, 2009). Il se présente comme une matrice carrée de dimension $N \times N$, cartographiant les interactions entre l’ensemble N des éléments du système. C’est une technique de modélisation très flexible, pouvant représenter différents types d’architecture selon le type de système étudié. Par exemple, pour modéliser l’architecture un processus, les éléments du DSM seront les livrables du processus à chaque étape tandis que les interactions seront les éléments nécessaires pour à chaque étape. Comparativement aux autres méthodes de modélisation de processus, le principal avantage est qu’il permet de visualiser les retours en arrière du flot et la nature compacte de l’affichage de la matrice. Cette matrice fournit une représentation de l’architecture du système très compacte, facile à déchiffrer et intuitive à la lecture (Knovel et al., 2012). La figure 1.6 ci-dessous montre un exemple de DSM simple d’un processus à huit

éléments ainsi que son équivalent graphique. Dans cet exemple, le livrable B a pour données d'entrée ou éléments nécessaires, les éléments D, F et G.

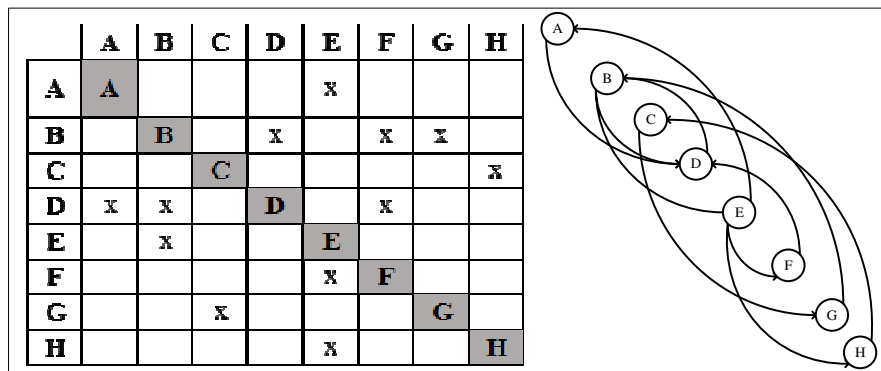


Figure 1.6 Illustration d'un DSM ainsi que du graphe correspondant
Adapté de Knovel et al. (2012)

1.5 Capture des besoins

La capture de l'information est un élément clé dans plusieurs projets. Elle est encore plus présente dans les projets de conception, lorsque la prise en compte de l'avis des utilisateurs est nécessaire. On parle alors de capture des besoins ou des attentes des utilisateurs ou des clients. Dans la littérature, il existe un ensemble de techniques développées pour capturer efficacement le plus d'informations souhaitées selon le contexte, le type d'informations recherché et le domaine d'études. Parmi ces techniques, les techniques standard ou de base peuvent être séparées des techniques de facilitation et des techniques sophistiquées qui sont très souvent une combinaison des techniques standard et des techniques de facilitation.

1.5.1 Techniques de facilitation

Comme techniques de facilitation utilisées pour la capture de l'information ou des idées, nous pouvons citer le remue-ménages, le forum ouvert (en anglais *open space technology*) et la technique KJ (Jiro Kawakita).

Le remue-méninges est l'une des techniques de facilitation la plus connue utilisées en entreprise. D'après le dictionnaire Larousse, il s'agit d'une technique de recherche d'idées originales fondée sur la communication réciproque dans un groupe d'associations libres. Autour de cette technique du remue-méninges, plusieurs approches se sont développées telles que l'approche d'Owen (2008). Dans le guide de l'*Open Space Technology*, Owen (2008) propose une technique s'inspirant du remue-méninges avec un accent mis sur le choix de l'endroit de la rencontre, le nombre de participants, la durée de la rencontre et la disposition des personnes. Owen (2008) part du principe que tous ces éléments influencent la créativité et la liberté des personnes lors des séances de remue-méninges. Par exemple, Owen (2008) propose de disposer les sièges de façon circulaire pendant les rencontres afin d'éliminer tout sentiment de dominance entre les participants, qui pourrait réduire l'efficacité attendue. Un handicap de cette technique d'Owen (2008), tout comme la technique du remue-méninges est qu'elles ne sont adaptées que lorsque les participants sont tous regroupés en un endroit. La méthode KJ (Jiro Kawakita) quant à elle est une technique de facilitation inventée par le géographe Jiro Kawakita en 1963 dans sa recherche d'un moyen lui permettant de schématiser et de tirer des conclusions d'un grand nombre de données qualitatives, subjectives et objectives issues d'entrevues qu'il avait conduites dans le cadre d'un projet d'exploration. Cette méthode requiert un certain nombre de sessions de travail d'une durée maximale de trois heures et avec des groupes de quatre à huit participants provenant de différent département de l'entreprise (production, vente, marketing, qualité, etc.). Maritan (2015) recommande d'avoir un superviseur pour conduire les rencontres. Concernant le déroulement, la méthode KJ se déploie en 5 phases qui sont (a) la phase de réchauffement, (b) la phase de distribution, (c) la phase de collecte, de lecture et de révision, (d) la phase de déploiement et (e) la phase de regroupement qui consiste à regrouper les feuilles de notes.

1.5.2 Approche de capture des besoins

Les approches de captures des besoins dans la littérature sont généralement des approches s'appuyant sur la combinaison de plusieurs techniques de facilitation et des techniques de

base qui sont les entrevues, les enquêtes ou les sondages. On peut par exemple citer le groupe de discussion (en anglais *focus group*). Le groupe de discussion est un type particulier de groupe en termes d'objectif, de taille, de composition et de procédures visant principalement la description et la compréhension des perceptions et des interprétations d'une population sélectionnée pour acquérir des informations sur un problème particulier du point de vue des participants du groupe (Winke, 2017). Par ailleurs, l'analyse de la valeur, le modèle Kano (He et al., 2017), le cadre Zachman (Vail, 2002), le diagramme FAST, l'analyse fonctionnelle et le DFQ, sont des outils qui impliquent la collecte des besoins ou des attentes des utilisateurs selon le contexte.

Le DFQ est une méthode d'aide à la décision appartenant à la grande famille des méthodes de gestion de la qualité utilisées pour planifier et concevoir des produits ou services nouveaux ou améliorés (E. Ertugrul Karsak & Dursun, 2014). L'un des objectifs du DFQ est la satisfaction des clients ou des utilisateurs à travers la prise en compte de leurs besoins ou attentes dès la phase de conception du produit (E. Ertugrul Karsak & Dursun, 2014). Les processus, le rôle, les utilisateurs et les outils du DFQ sont décrits dans la norme ISO 16355. Dans cette norme, les thèmes suivants sont présentés (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 Thèmes clés du DFQ tels que présenté dans la norme ISO 16355

Thèmes du DFQ (norme ISO 16355)	Description
La voix des clients (Voice of the customers - VOC)	Informations provenant des clients et qui peuvent être soit verbales, écrites, audio, vidéo ou sous tous autres formes
Les besoins des clients et des utilisateurs (Customer needs)	Bénéfices potentiels pour les clients
La voix des parties prenantes (Voice of the stakeholders - VOS)	Informations provenant des parties prenantes et qui peuvent être soit verbales, écrites, audio, vidéo ou sous tous autres formes
Customer gemba	L'endroit où la vraie information est disponible
Requis fonctionnels (functional requirements)	Les caractéristiques que le produit doit posséder

Un exemple de projet d'application du DFQ est présenté par Maritan (2015). Dans son travail, Maritan (2015), propose une approche de collecte d'informations dans un projet de DFQ. Cette approche se repose sur sept grandes phases parmi lesquelles les deux premières portent sur la capture des besoins des utilisateurs (*Customers needs*) et des informations sur l'entreprise développant le produit. Dans ces deux premières phases, Maritan (2015) combine à la fois les enquêtes, les entrevues et des séances de remue-méninges pour obtenir la liste des attentes des clients. Les enquêtes réalisées par Maritan (2015) s'appuient sur un questionnaire à réponse fermé (réponses prédéterminées), contrairement aux questionnaires à réponses ouvertes (les répondants sont emmenés à développer leurs réponses propres). Le questionnaire à réponses fermées est préféré du fait de la facilité à quantifier en valeur chiffrable les résultats obtenus.

1.5.3 Traitement des besoins des clients

Une fois les informations relatives aux besoins des clients collectés, un traitement doit être fait pour déterminer le poids de chacun des besoins ou pour évaluer la priorité des besoins. Il existe plusieurs approches de priorisation dans la littérature parmi lesquelles nous pouvons citer la comparaison par paires (Held, Fischer, & Schrepp, 2011) et le calcul statistique du poids des besoins (Dixon & Massey, 1983).

La comparaison par paires est une méthode consistant à comparer des éléments d'un ensemble deux à deux. Elle est réalisée dans le cadre d'une rencontre entre les utilisateurs ou les clients et les personnes désirant capturer le besoin. Le but est de comparer deux à deux l'importance des besoins, et de produire au final un poids pour chaque besoin. À la suite, les besoins seront classés par note décroissante. Celui ayant la plus grande note sera le plus important. C'est une méthode efficace dans la mesure où la note des besoins est relative à l'ensemble des besoins exprimés. Son principal inconvénient est qu'il devient difficile à déployer lorsque le nombre de besoins à prioriser est important. La figure 1.7 ci-dessous illustre le principe pour un cas simple. On peut observer sur cette figure que le besoin exprimé par « garder les épis intègres » a le plus grand poids tandis que le besoin exprimé par

« être facile à assembler » a le plus faible poids. Ainsi le besoin D est prioritaire aux autres tandis que le besoin C est moins prioritaire.

	Description des besoins	Minimum acceptable	A	B	C	D	E	F	G	score Absolu	
A	être efficace			a1	a3	d2	a2	a1	g2	7	16%
B	être abordable				b3	d2	b2	b1	g2	6	13%
C	être facilement assemblable					d3	e2	f3	g3	0	0%
D	garder les épis intègre						d3	d2	d1	13	29%
E	contenir suffisamment d'épis							f3	g3	2	4%
F	être simple à opérer								f1	7	16%
G	être sécuritaire									10	22%
										45	100%

1 = un peu plus important
2 = plus important
3 = beaucoup plus important

Figure 1.7 Illustration de la méthode de comparaison par paires
Tirée de matériel de cours MEC402

Le calcul statistique quant à lui est très souvent utilisé pour sa simplicité et sa flexibilité. Il consiste à déterminer l'importance des besoins en faisant la moyenne des résultats provenant très souvent d'une enquête quantitative à question fermée. La principale difficulté ici réside dans le contrôle de la variance des résultats d'enquête. En effet, la compréhension du questionnaire par les différents protagonistes peut énormément varier, conditionnant ainsi la qualité des résultats. Il est facile à déployer, quel que soit le nombre de répondants. Ceci est d'autant plus vrai de nos jours avec les moyens de connexions et de communication très avancés. Dans la plupart des outils de conception, le calcul statistique est intégré pour la priorisation des besoins. C'est le cas dans le DFQ tel que visible dans le travail de Maritan (2015).

1.6 Conclusion

Ce chapitre a passé en revue un ensemble de travaux en relation avec la problématique de la recherche qui porte sur l'amélioration de la planification et de l'ordonnancement des

opérations. Les principaux thèmes qui ont été abordés sont la planification et l'ordonnancement, les systèmes de POA, la cartographie des processus, la capture des besoins et la prise de décision relative aux problèmes de sélection. Pour chacun de ces thèmes, un ensemble d'approches et de modèles développés ont été présentés ainsi que leurs limites, leurs avantages et les similitudes existantes. Dans le prochain chapitre, nous présenterons la méthodologie générale de la recherche ainsi que les méthodes qui seront utilisées pour l'atteinte de l'objectif et des sous objectifs de la recherche.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie générale mise en œuvre pour atteindre les objectifs de recherche et précise les choix méthodologiques opérés. Il est divisé en 4 sections présentant :

- 1- La méthodologie générale de la recherche qui est la science de la conception;
- 2- La méthodologie de la cartographie de processus;
- 3- La méthodologie de la capture des besoins;
- 4- La méthodologie de la conception de l'outil amélioré de sélection.

La première section s'appuie sur la littérature pour présenter la science de la conception et justifier la raison du choix de la méthodologie associée. Cette section aurait pu être développée dans le chapitre 2 sur la revue de littérature. Elle est présentée dans ce chapitre afin de montrer les liens entre la méthodologie générale de la recherche et les méthodologies conçues pour l'atteinte des sous-objectifs de la recherche.

2.2 Méthodologie générale de la recherche

La méthodologie générale de ce travail est celle prescrite par la science de la conception. La science de la conception est un processus itératif de résolution de problèmes concrets s'appuyant sur le développement d'artéfacts nouveaux. Cette méthode permet une bonne compréhension des enjeux de la recherche, des livrables, des objectifs ainsi qu'une bonne connaissance de l'espace des solutions disponibles.

2.2.1 Présentation de la science de la conception

Initialement destinée au domaine des systèmes de l'information, la science de la conception est aujourd'hui une approche pratique utilisée dans plusieurs disciplines (Pournader, Tabassi, & Baloh, 2015). La science de la conception est une méthode de recherche scientifique visant à apporter des changements à un système donné à travers la transformation et l'amélioration de la situation existante (Dresch, Lacerda, & Antunes Jr, 2015). Parmi les chercheurs ayant contribué au développement de cette méthode se trouve Herbert Simon qui est considéré comme l'un des pionniers des discussions sur la science de la conception.

Dans la littérature, les extrants majeurs de l'approche de science de la conception sont des artefacts. Un artefact est un outil tangible ou non permettant d'atteindre l'objectif de recherche fixé. Il constitue la finalité de la recherche et inclut les théories, les cartes conceptuelles, les instruments, les modèles et les méthodes (Hevner, March, & Jinsoo, 2004), (March & Smith, 1995). La figure 2.1 suivante illustre une adaptation de l'approche de science de la conception proposée par (Pournader et al., 2015).

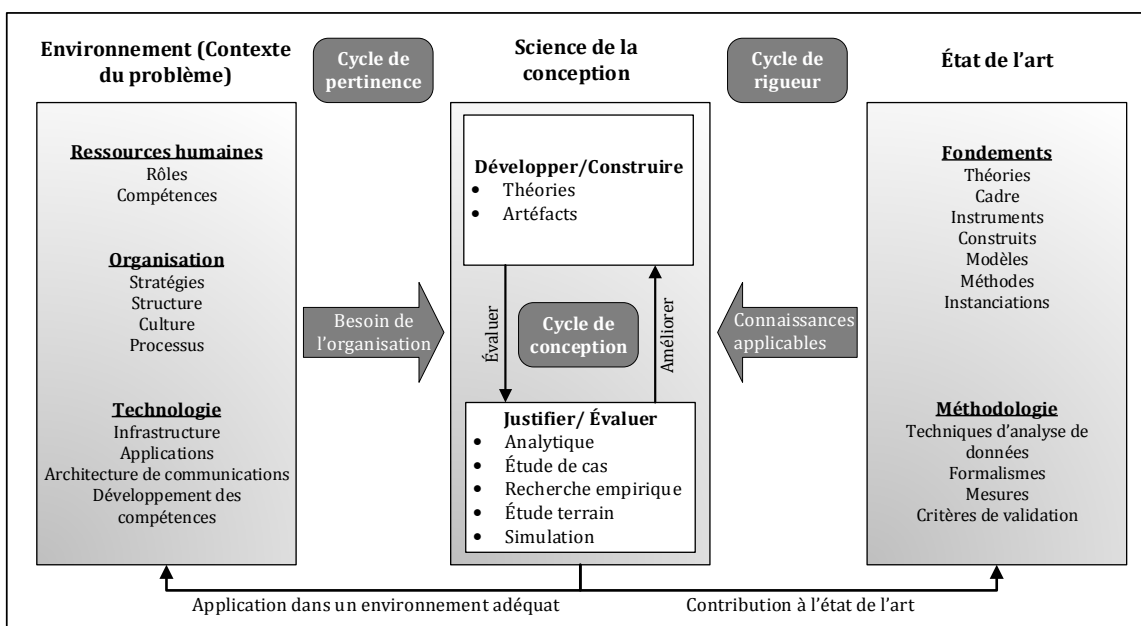


Figure 2.1 Cadre de la science de la conception pour la sélection de logiciels de POA
Adaptée de Pournader et al. (2015)

Par ailleurs, Hevner et al. (2004) ont proposé un ensemble de sept critères pour assister le déploiement de la science de la conception comme stratégie et méthodologie de recherche. Ces critères sont récapitulés dans le tableau 2.1 ci-dessous et utilisés pour montrer l'adéquation de la science de la conception à la résolution du problème de recherche en étude.

Tableau 2.1 Critères de déploiement de la science de la conception dans le cadre de ce projet

	Critères	Description du critère	Adéquation du projet à ce critère
1	Création d'un artefact	La science de la conception est orientée vers une solution concrète à un problème concret. La recherche doit donc nécessairement conclure par un artefact.	La demande des industriels d'avoir des outils clairs pour l'amélioration des opérations de planification et d'ordonnancement.
2	Problème spécifique	La solution recherchée doit nécessairement correspondre à un problème concret et avéré par une organisation.	Le problème traité est commun à plusieurs industries du secteur manufacturier.
3	Évaluation de l'artefact	L'utilité de l'artefact doit être justifiée	Un ensemble d'entreprises évaluera l'utilité de l'outil développé.
4	Contribution à la recherche	La recherche menée doit démontrer sa contribution dans le domaine spécifique de son application	La problématique de ce travail contribuera à la compréhension des enjeux en matière de systèmes de POA et permettra de développer une approche de sélection améliorée.
5	Rigueur de la recherche	Que ce soit pour la réalisation ou l'évaluation de l'artefact, des méthodes scientifiques rigoureuses doivent être appliquées	Voir la méthodologie décrite dans les sections suivantes.
6	La conception en tant que processus de recherche	La recherche doit être menée afin de mieux comprendre le problème traité et de découvrir de nouvelles méthodes de résolution de problèmes.	Ce problème spécifique n'est traité que sommairement dans la littérature et doit permettre d'opérer une sélection objective et orientée des APS.
7	Communication de la recherche	La recherche doit être présentée à une audience orientée technologie, mais aussi à une audience orientée gestion.	Ce travail est mis à disposition dans la base de données de l'université.

2.2.2 Les étapes de la recherche découlant de la science de la conception

Dans la littérature, il existe un ensemble très varié de modèles de déploiement de la science de la conception récapitulé en grande partie dans Dresch et al. (2015). De façon générale, ces modèles sont assez similaires et sont constitués autour des étapes suivantes :

- L'identification du problème de recherche;
- La sélection des solutions;
- L'évaluation de la solution choisie;
- La conclusion.

Dans le cadre de ce travail, nous utiliserons le modèle de Vaishnavi et Kuechler (2015) pour sa clarté et sa structure très compacte. La figure 2.2 ci-dessous, tirée de Manson (2006) illustre ce modèle, avec un accent sur les étapes principales et les livrables attendus à chacune d'elles. Considérant le temps limité, le travail de recherche portera principalement sur les trois premières étapes de la science de la conception.

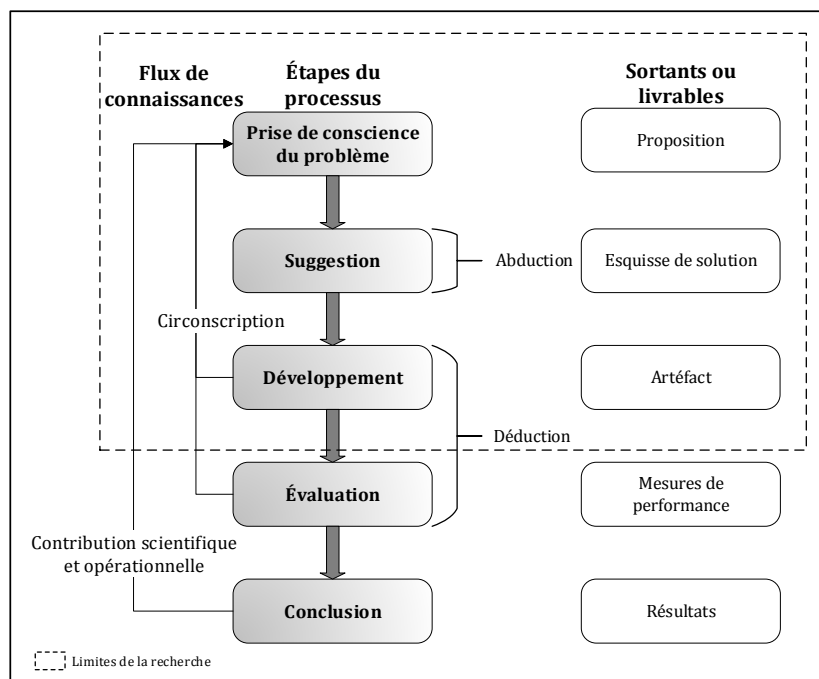


Figure 2.2 Étapes de la science de la conception
Adaptée de Manson (2006)

En s'appuyant sur ces étapes de la science de la conception présentées par Vaishnavi et Kuechler (2015), la stratégie de recherche présentée par le tableau 2.2 suivant a pu être développée. Ce tableau regroupe les détails sur les différentes phases, les méthodes utilisées et les résultats attendus.

Tableau 2.2 Stratégie de recherche

Phase de la méthodologie	Sous-phases	Méthodes/ moyens	Livrables (résultats)
1 - Phase de prise de conscience du problème	1.1 - Compréhension de la problématique	Revue de la littérature	Problématique de recherche
	1.2 - Compréhension du contexte industriel	Rencontres informelles avec les professionnels et les industriels	Problématique de recherche, point de vue industriel
	1.3 - Revue des concepts théoriques	Revue de la littérature	Connaissances théoriques
2 - Phase de suggestion	2.1 - Suggestion et sélection de l'objectif de recherche	Rencontres informelles avec les industriels et observations	Objectif de recherche
3 - Phase de développement	3.1 - Cartographie des processus		
	3.1.1 - Choix de la méthode de cartographie de processus	- Analyse du contexte de l'entreprise - Revue de la littérature	Liste des besoins et spécification techniques
	3.1.2 - Modèle préliminaire du processus	Observation	Flux d'informations du processus
	3.1.3 - Modélisation du processus	Entrevues individuelles non-structuré	Cartographie du processus
	3.1.4 - Vérification	Entrevues de groupe	Cartographie du processus vérifiée
	3.1.5 - Étude de la saturation empirique	Critère de saturation empirique	Cartographie des processus validé (livrables 1 et 2)
	3.2 - Capture des besoins		
	3.2.1 - Échantillonnage	Échantillon par choix raisonné	Liste des participants
	3.2.1 - Établissement de la liste initiale de besoins	- Analyse critique des cartographies des processus - Entrevues individuelles non-structuré	Liste préliminaire des besoins
	3.2.2 - Collecte de données	- Enquête par questionnaire - Séances de remue-méninges	Données brutes
	3.2.3 - Traitement des données	Diagramme d'affinité	Liste des besoins
	3.2.4 - Vérification	Entrevues de groupe	Liste des besoins vérifiée
	3.2.5 - Étude de la saturation empirique	Critère de saturation empirique	Liste des besoins validée (livrables 3)
	3.3 - Conception de la méthodologie de sélection		
	3.3.1 - Choix méthodologiques	Revue de la littérature	Algorithme de fonctionnement
	3.3.2 - Conception de la méthodologie de sélection préliminaire	- Revue de la littérature - Méthode multicritère de prise de décision	Méthodologie de sélection préliminaire
	3.3.3 - Révision	Entrevues individuelles	Méthodologie de sélection
	3.3.4 - Étude de la saturation empirique	Critère de saturation empirique	Méthodologie de sélection validée (livrables 4 et 5)
4 - Phase d'évaluation	4.1 - Évaluation quantitative	Étude de cas	Résultats d'évaluation
	4.2 - Évaluation qualitative	Sondage	Résultats d'évaluation
5 - Conclusion			

2.2.3 Livrables de la recherche

Du tableau 2.2 ci-dessus détaillant la stratégie de recherche, on peut identifier les 5 principaux livrables de la recherche suivante :

- 1- La cartographie du processus de planification;
- 2- La cartographie du processus d'ordonnancement;
- 3- La liste des besoins de l'EP;
- 4- La liste des critères de sélection des logiciels de POA;
- 5- La méthodologie de sélection améliorée.

Les livrables 1 et 2 permettent de répondre au premier sous objectif de la recherche de cartographie des processus de planification et d'ordonnancement de l'EP. Ces livrables serviront d'éléments d'entrées dans la réalisation du second objectif dans la mesure où, elles permettront de dresser un premier portrait de la situation dans l'entreprise à travers une analyse critique.

Le livrable 3 permet la capture de l'ensemble des besoins de l'EP relatif à la planification et l'ordonnancement. Il permet donc de répondre au deuxième sous objectif de la recherche.

Les livrables 4 et 5 quant à eux répondent au troisième sous objectif de la recherche qui est la conception et l'application au cas de l'EP d'une méthodologie de sélection améliorée des logiciels de POA. Ces deux livrables seront développés dans le cadre d'un article scientifique et présenté au chapitre 5 de ce mémoire.

L'intégration de ces 5 livrables permettra d'atteindre l'objectif principal de la recherche qui est l'amélioration de la planification des opérations de l'EP à travers la sélection d'un logiciel de POA. La figure 2.3 ci-dessus illustre cette intégration.

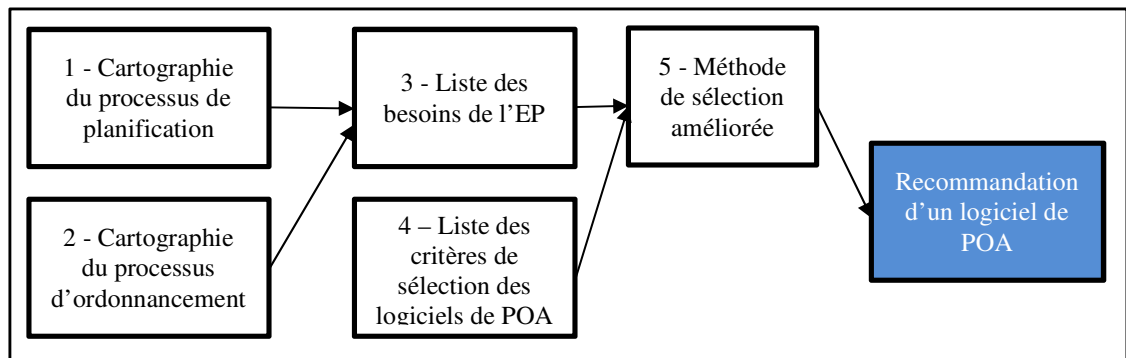


Figure 2.3 Intégration des livrables de la recherche

2.3 Méthodologie de la cartographie des processus

Cette section présente la méthodologie utilisée pour cartographier les processus de planification et d'ordonnancement. La Figure 2.4 présente la logique de cette méthodologie ainsi que les étapes principales. Les sous-sections suivantes apportent des détails pour chacune des étapes de cette méthodologie.

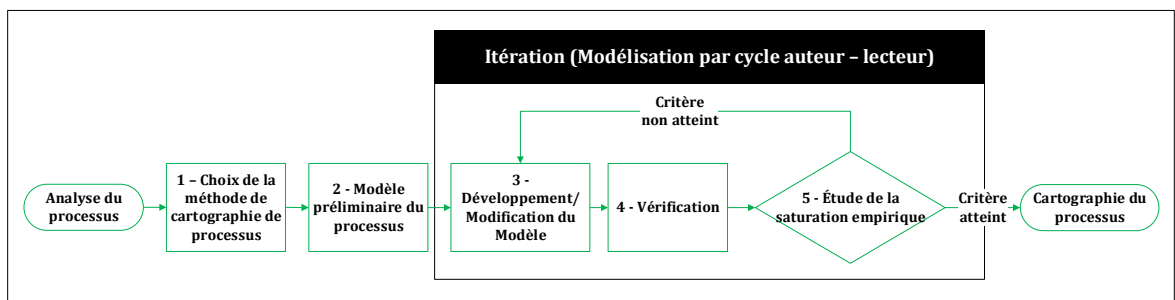


Figure 2.4 Méthodologie de la cartographie des processus

2.3.1 Choix de la méthode de cartographie

Comme montré dans la revue de la littérature, il existe plusieurs méthodes de cartographie de processus. Afin de modéliser les processus de planification et d'ordonnancement, il faut déterminer la méthode adéquate. Ce choix de la méthode de cartographie sera guidé par le

contexte de l'EP. En effet, la méthode retenue devra s'intégrer aux autres processus déjà existants dans l'EP afin de garder l'uniformité des formes et par conséquent faciliter l'appropriation par les employés de l'EP.

2.3.2 Modèle préliminaire du processus

La cartographie initiale du processus sera faite par observation. Il sera question de participer aux différents processus de planification et d'ordonnancement au côté des personnes responsables. Ceci permettra de capturer les étapes clés de chacun des processus ainsi que les fournisseurs, les intrants, les extrants et les clients de chaque processus. Le diagramme SIPOC sera utilisé pour présenter ces informations. En effet, comme vu dans la revue de la littérature, cette méthode offre un schéma structuré et compact permettant de cerner en une image le cadre général du processus.

2.3.3 Modélisation du processus par cycle auteur-lecteur

La modélisation du processus par cycle auteur-lecteur est une approche itérative. Elle permet d'alterner la représentation et la présentation de la cartographie aux acteurs du processus afin d'assurer la vérification de la cartographie.

La première étape repose sur une série d'entrevues individuelles non structurées qui sera réalisée avec les employés de l'EP en charge de la planification et de l'ordonnancement des opérations. Le choix des entrevues individuelles non structurées se justifie par le faible degré d'innovation et de précision recherché et par l'absence de procédure claire, rendant le niveau d'expérience des acteurs de la planification et de l'ordonnancement faible (Wirthlin, 2000). D'autre part, ce type d'entrevue est très flexible et permet de s'adapter à des contextes spécifiques. Ces entrevues individuelles non structurées se dérouleront en présentant la cartographie du processus établie précédemment afin que des commentaires, des suggestions soient émis.

Les principales informations recherchées seront :

- Les activités du processus avec leur ordre de réalisation;

- Les extrants;
- Les personnes responsables;
- Les temps de réalisation des activités.

Suite à ces entrevues, des modifications seront apportées à la cartographie du processus selon les informations collectées. La cartographie mise à jour sera ensuite présentée lors de l'entretien suivant. Ce cycle sera répété jusqu'à l'atteinte d'un point de satisfaction déterminé par l'étude de la saturation empirique.

2.3.4 Saturation du modèle

L'étude de la saturation de la cartographie sera faite à travers l'évaluation du critère de saturation empirique. Ceci permettra la validation du modèle, conformément à la validation pragmatique. Le critère de saturation empirique est un concept de validation de processus s'appuyant sur la stagnation de l'information collectée pour la détermination du moment où l'on peut arrêter la récolte d'informations (Pires, 1997). Dans le cas présent, pour la méthode de cycle – auteur adopté pour la modélisation du processus, la stagnation de l'information sera évaluée à travers le nombre de nouvelles informations récoltées à chaque cycle de modélisation. Une valeur cible de 95 % de saturation empirique sera fixée comme recommandé dans la littérature.

2.3.5 Livrables

Les livrables attendus de la cartographie des processus sont la cartographie du processus de planification et la cartographie du processus d'ordonnancement. La validation des livrables sera faite en présentant les cartographies à des employés intervenant dans chaque processus et n'ayant pas participé au cycle de modélisation. Les répondants seront recrutés comme suit :

- Un employé du département de l'amélioration continue;

- Un employé parmi les responsables de l'atelier de production;
- Le directeur des opérations.

2.4 Méthodologie de la capture des besoins

Cette section présente la méthodologie utilisée pour la capture des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations. La Figure 2.5 présente la méthodologie ainsi que les étapes principales.

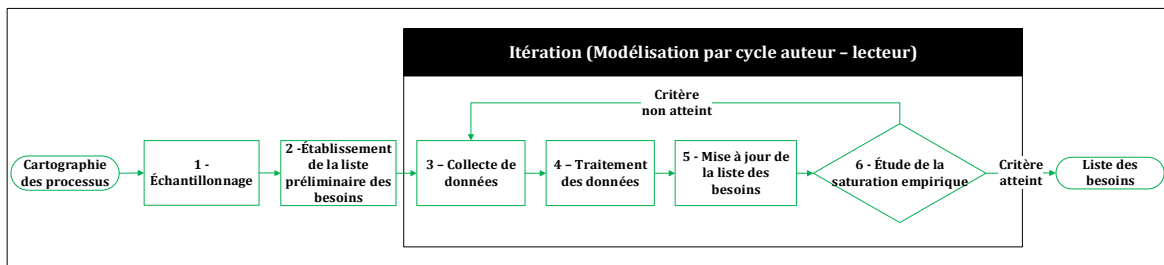


Figure 2.5 Méthodologie de la capture des besoins de l'EP

2.4.1 Échantillonnage

L'échantillon interrogé dans le cadre de la capture des besoins sera composé de 12 personnes de l'EP. Ces personnes, identifiées comme preneurs de décision de l'EP, sont sélectionnées parmi les employés des services clés de l'EP intervenant dans les processus de planification et d'ordonnancement. L'échantillon est représentatif et constitué comme suit:

- Service de l'amélioration continue (2 employés);
- Service de la planification (3 employés);
- Service de la chaîne d'approvisionnement (2 employés);
- Service de réparation (3 employés);
- Service des ventes et opérations (1 employé);
- Gestion de l'atelier (2 employés).

Le profil recherché est celui des personnes d'expériences dans la gestion des opérations et notamment dans la planification et l'ordonnancement des opérations. L'échantillon est divisé en deux groupes dénommés « acteurs principaux » et « acteurs secondaires ». Le groupe des « acteurs principaux » regroupe les trois employés du département de la planification tandis que le groupe des « acteurs secondaires » regroupe les employés n'intervenant pas directement dans les processus de planification et l'ordonnancement, mais qui influencent ces derniers. Cette répartition est ainsi faite afin de réduire l'implication des « acteurs secondaires » dont la contribution à l'étude sera moindre par rapport à celle des « acteurs principaux ». Par ailleurs, l'expérience des répondants et la représentativité de l'échantillon permettront d'assurer la crédibilité et la pertinence des données recueillies.

2.4.2 Établissement de la liste préliminaire des besoins

La méthodologie de l'étude étant celle de la science de la conception, l'itération du processus de conception constitue le cœur de la méthodologie. Afin d'entrer dans la boucle itérative d'amélioration, la liste préliminaire des besoins de l'EP devra être établie. La liste préliminaire des besoins servira de base dans le processus cycle-lecteur. L'établissement de cette liste préliminaire utilisera deux sources d'informations.

La première source d'informations sera l'analyse critique des cartographies du processus de planification et du processus d'ordonnancement établies précédemment. En effet, cette analyse critique permettra d'identifier les limites, les contraintes et les pistes d'amélioration potentielles de la planification des opérations.

La seconde source d'informations sera une enquête par questionnaire (*Voir ANNEXE IV, p 145*), adressée aux personnes identifiées dans l'échantillon. Les questions de l'enquête seront des questions ouvertes et permettront de collecter des données brutes.

Les informations une fois récoltées permettront d'établir la liste préliminaire des besoins de l'EP relatif à la planification et à l'ordonnancement.

2.4.3 Processus par cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins

Comme mentionné plus haut, la modélisation du processus par cycle auteur-lecteur est une approche itérative. Afin de capturer les besoins de l'EP relatif à la planification et à l'ordonnancement des opérations, la modélisation par cycle – auteur sera appliquée selon le schéma de la figure 2.6. La liste préliminaire des besoins servira de document de base.



Figure 2.6 Étapes du processus cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins

2.4.4 Collecte de données

La première étape du processus cycle-lecteur est la collecte de données. Les données recherchées sont les besoins et les attentes de l'EP en relation avec la planification et l'ordonnancement des opérations. Ces données seront collectées à travers deux entrevues de groupes pendant lesquelles le sujet de la discussion sera la liste des besoins établie dans le cycle de conception précédent. Pour le premier cycle de conception, la liste préliminaire des besoins servira de sujet de discussion pour la première entrevue de groupe.

La première entrevue de groupe regroupera les « acteurs secondaires » et permettra d'explorer des pistes non soupçonnées, mais utiles pour l'amélioration de la planification. Ceci se justifie par le fait que, ces personnes n'étant pas directement liées au processus, possèdent une vue globale du problème.

Les entrevues de groupe suivantes seront réalisées avec les « acteurs principaux » de l'échantillon et permettra d'enrichir la liste des besoins sortie de la première entrevue. Elles permettront également de valider les résultats obtenus de la première entrevue.

2.4.5 Traitement des données

La deuxième étape du processus par cycle-lecteur dans le cadre de la capture des besoins de l'EP est le traitement des données collectées. Le traitement consistera à préciser les informations récoltées durant les entrevues de groupes de façon à en faire des besoins précis. De plus le regroupement par affinités (Stevenson, Benedetti et Youssef, 2012) permettra de caractériser les besoins par catégories. Ainsi chaque nouveau besoin sera inséré dans une catégorie existante ou une nouvelle catégorie sera créée au cas échéant.

2.4.6 Mise à jour de la liste des besoins de l'EP

Au sortir du traitement des données, il faudra intégrer les informations collectées et traitées dans le cycle de conception courant. Ceci débouchera sur une nouvelle version de la liste des besoins de l'EP (mise à jour de la version précédente). Comme dans le cas de la méthodologie de la cartographie des processus, l'étude de la saturation empirique permettra d'arrêter le cycle de conception et de valider la liste des besoins de l'EP.

2.4.7 Étude de la saturation empirique

Le critère de saturation empirique sera utilisé pour déterminer le moment où l'on devra arrêter le cycle de conception. L'élément de contrôle sera le nombre de nouvelles informations récoltées à chaque nouvelle entrevue de groupe avec « les acteurs principaux ». La valeur cible de 95 % de saturation empirique sera aussi fixée comme cible. Ainsi après chaque cycle de conception, le critère de saturation sera calculé. Si sa valeur est supérieure ou égale à 95 %, le cycle de conception sera arrêté. Dans le cas contraire, la liste des besoins sera réinjectée dans un nouveau cycle de conception jusqu'à l'atteinte de 95 % de saturation.

2.4.8 Livrables

Le livrable attendu de la capture des besoins est la liste des besoins de l'EP. La validation de cette liste sera faite en présentant l'ensemble des besoins capturés aux personnes identifiées dans l'échantillon. Un consensus de la part de toutes ces personnes permettra la validation de la liste des besoins de l'EP.

2.5 Méthodologie de la conception de l'outil amélioré de sélection

Cette section présente la méthodologie utilisée pour la conception de l'outil amélioré de sélection, qui permettra de recommander un logiciel de POA à l'EP. La figure 2.7 ci-dessous présente la méthodologie ainsi que les étapes principales. Il est à noter que la conception de la méthodologie, les résultats, ainsi que les étapes de validation seront présentés dans un article scientifique soumis présenté au chapitre 4 de ce mémoire.

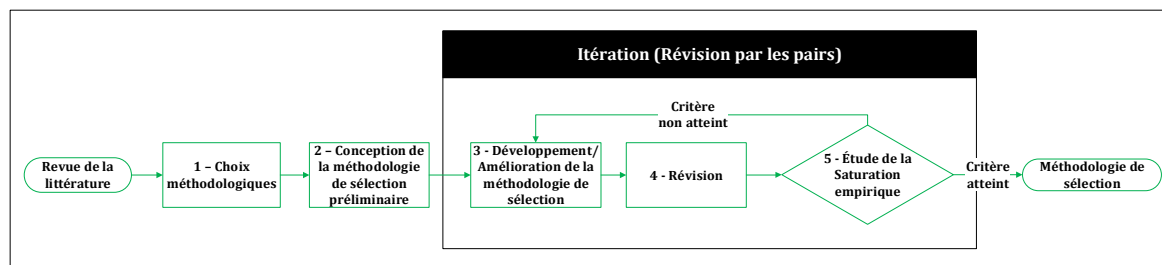


Figure 2.7 Méthodologie de la conception de l'outil amélioré de sélection

2.5.1 Choix méthodologiques

Parmi les éléments importants qui interviennent dans les problèmes de sélection, on peut citer les besoins à couvrir par le résultat de la sélection, les critères de sélection, les alternatives et les avis d'experts. Dans la littérature, on retrouve d'un côté des méthodes de sélection s'appuyant uniquement sur les besoins. Le DFQ est l'une des méthodes les plus en vues dans ce sens. De l'autre côté, nous avons des méthodologies de sélection considérant uniquement les avis d'experts à travers l'évaluation des critères de sélection. L'AHP est la méthode par excellence dans cet exercice. L'AHP évalue les critères de sélection tandis que le DFQ

évalue les besoins. Les personnes de l'entreprise n'étant pas forcément des experts du problème de sélection, une méthodologie s'appuyant uniquement sur les informations fournies par les personnes de l'entreprise serait très peu fiable. De même, les experts n'étant pas en contact direct avec le vécu de l'entreprise et dont pas forcément informés des besoins de l'entreprise, une méthodologie développée uniquement sur l'évaluation des experts pourrait ne pas répondre aux besoins de l'entreprise.

Dans le cadre de ce projet, nous nous proposons d'intégrer ces deux méthodes (AHP et DFQ) afin de considérer à la fois l'importance des besoins provenant des personnes de l'entreprise et l'évaluation des critères de sélection faite par les experts du domaine. Pour rendre cette intégration possible, une version modifiée de la maison de la qualité devra être mise en place comme le montre la figure 2.8 ci-dessous. Le champ ajouté (en couleur jaune) permettra d'intégrer les résultats de l'AHP dans le calcul du poids final des critères de sélection.

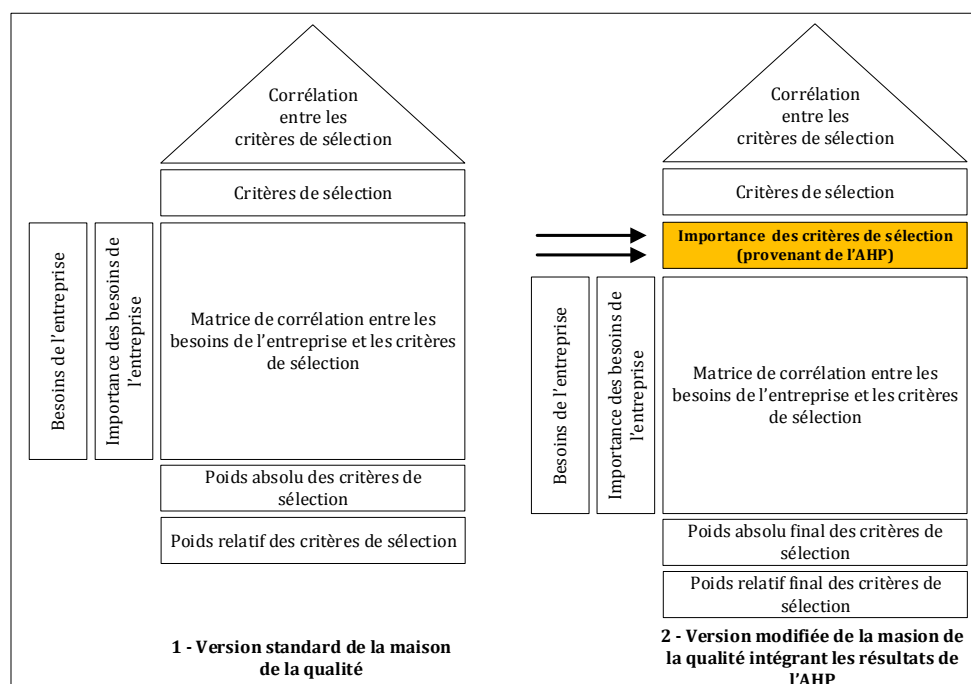


Figure 2.8 Versions standard et modifiée de la maison de la qualité

Par ailleurs, la méthode de prise de décision multi critère nommée VIKOR sera également intégré dans la méthodologie de sélection améliorée. La méthode VIKOR utilise une série d'opérations mathématiques pour classer des alternatives et déterminer la solution la plus proche de l'idéal. Elle permettra de trouver une solution possible s'appuyant sur l'utilité, le regret exprimé et un consensus entre l'utilité et le regret. Ainsi, il sera possible de faire des propositions de choix s'adaptant à la philosophie de l'entreprise.

En résumé, la méthodologie de sélection améliorée intégrera trois méthodes de prise de décision qui sont le DFQ, l'AHP et la méthode VIKOR avec l'utilisation de la logique floue.

2.5.2 Conception de la méthodologie de sélection préliminaire

Comme mentionné ci-dessus, la conception de la méthodologie de sélection préliminaire sera abordée plus bas dans un article scientifique présenté au chapitre 4 du mémoire. L'article présentera en détail les différentes méthodes qui seront utilisées (DFQ, QFD, VIKOR). On y retrouvera aussi le développement de liste des critères de sélection des logiciels de POA, ainsi que l'application de méthodologie de sélection améliorée au cas de l'EP. Par ailleurs un questionnaire sera adressé aux 12 preneurs de décisions de l'EP identifiés dans l'échantillon pour évaluer le poids des besoins capturés. 6 experts externes à l'EP seront utilisés pour l'identification des critères de sélection des logiciels de POA. Ces mêmes 6 experts contribueront à la construction des matrices de comparaison par paires des critères, nécessaires au processus de sélection.

2.5.3 Conception par cycle auteur – lecteur

Dans le cadre de ce projet, nous nous limiterons à la première étape de la méthodologie de conception. Ceci signifie que les itérations du cycle de conception ne seront pas faites dans ce projet. Elles seront abordées dans des travaux futurs. Il s'agit là d'une limite de l'étude.

Notons cependant que, les étapes de révision et d'étude de la saturation empirique seront réalisées dans le même ordre d'idée que ce qui a été présenté plus haut dans la méthodologie de la capture des besoins (Section 2.4.7)

2.5.4 Livrables

Les livrables attendus de la conception de la méthodologie de sélection améliorée sont la liste des critères et des sous critères de sélections des logiciels de POA, et la méthodologie de sélection améliorée. La validation de la liste des critères et des sous critères de sélection sera faite à travers le processus d'identification qui s'appuiera sur la méthode de modélisation par cycle auteur – lecteur. Ainsi des experts du domaine des logiciels de gestion des opérations seront identifiés pour la constitution de la liste. L'étude de la saturation empirique permettra de déterminer le point d'arrêt de la collecte d'informations. Une fois la liste des critères et des sous critères de sélection établie, elle sera présentée de nouveau aux experts afin d'être validée. La nouvelle méthodologie de sélection développée sera quant à elle validée en l'appliquant au cas de l'EP.

2.6 Évaluation des résultats

Comme indiqué dans la stratégie de recherche déduite de la science de la conception, la phase 4 de l'étude porte sur l'évaluation des résultats. L'objectif final de la recherche étant la sélection d'un logiciel de POA qui satisfait les besoins de l'EP, l'évaluation portera sur deux points principaux. Premièrement il faudra mesurer à quel point les besoins identifiés traduisent réellement la situation dans l'entreprise. Deuxièmement, le logiciel qui sera choisi devra être implémenté et ses performances vis-à-vis des besoins identifiés devront alors être mesurées. On note ainsi que l'évaluation ne pourra être réalisée qu'une fois le logiciel implanté dans l'EP. Ceci n'étant pas possible dans les limites du temps imparti pour ce projet, l'évaluation ne pourra pas être couverte dans cette étude. Il s'agit d'une des limites de l'étude.

Cependant, une étude comparative de la méthode de sélection développée par rapport aux méthodes AHP, DFQ + VIKOR, AHP + VIKOR sera faite. Les écarts entre les résultats (classement des alternatives) seront analysés à l'aide du test de corrélation statistique du classement de Spearman. Les avantages et les inconvénients de ces méthodes seront également mis en exergue.

2.7 Conclusion

Cette section présente la stratégie générale de la recherche ainsi que la méthodologie permettant l'atteinte des sous objectifs de la recherche et par conséquent l'atteinte de l'objectif principale de la recherche. Il s'agit de la méthodologie de la cartographie des processus, de la méthodologie de la capture des besoins de l'EP et de la méthodologie de conception de l'outil de sélection améliorée. Également, les éléments de choix des méthodes et techniques qui seront utilisées ont été détaillés. La stratégie de la recherche utilisée dans cette étude est celle dictée par la science de la conception. Il s'agit d'une méthode conception itérative. Par ailleurs, dans toutes les méthodologies proposées, l'étude de la saturation empirique a été retenue comme méthode de contrôle qui permettra de déterminer le moment d'arrêt du cycle de conception prescrit par la science de la conception. Dans le chapitre suivant, les méthodologies conçues dans ce chapitre seront appliquées au cas de l'EP, notamment en ce qui concerne la cartographie des processus et la capture des besoins relatifs à la planification et l'ordonnancement des opérations.

CHAPITRE 3

APPLICATION DES MÉTHODOLOGIES DÉVELOPPÉES AU CAS DE L'EP

3.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus de l'application des méthodologies relatives à la résolution des deux premiers sous objectifs de la recherche. Il s'agit de la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement et de la capture des besoins de l'EP. Le troisième sous objectifs est traité dans le chapitre 4 présenté sous forme d'article scientifique. En se référant au tableau 2.2 présentant les 5 phases de la stratégie de recherche et à la figure 2.2 présentant les limites de la recherche, les résultats de la recherche peuvent s'articuler autour des 3 premières phases suivantes.

Phase 1 - Prise de conscience du problème : Le résultat de cette phase est la définition de la problématique de recherche. Ceci a déjà été fait plus haut dans les chapitres introduction et revue de la littérature. En effet, à l'issue de plusieurs rencontres informelles avec l'EP l'on a pu prendre conscience d'importantes limites dans la planification et l'ordonnancement actuels des opérations de l'EP dues principalement à l'utilisation d'outils peu adaptés.

Phase 2 - Suggestion : La phase de suggestion permet de définir l'objectif de la recherche.

Les pistes de résolution envisagées pour résoudre la problématique ont été les suivantes :

- L'optimisation de la planification et de l'ordonnancement à l'aide de la programmation linéaire en nombre mixte multi période;
- Le développement et l'implantation d'un système personnalisé de planification et d'ordonnancement des opérations;
- La sélection et l'implantation d'un logiciel commercial de POA qui couvrira les besoins de l'EP relatif à la planification et à l'ordonnancement des opérations.

La première piste de résolution portant sur l'optimisation n'a pas été retenue par l'EP en raison du temps nécessaire jugé trop long. De plus l'EP ne possède pas un historique de données assez conséquent pour soutenir un modèle d'optimisation.

La deuxième piste de résolution portant sur le développement d'un système personnalisé n'a pas été retenue parce que l'EP ne souhaitait pas implanter une solution personnalisée en raison de l'environnement de l'entreprise qui sera sujet à d'importantes variations dans les années à venir (aménagement d'un nouveau site, augmentation du type de produits).

Au final, l'EP a opté pour la sélection et l'implantation d'un logiciel de POA commerciale comme piste de résolution de la problématique. L'objectif est alors de concevoir une méthodologie pour la sélection de logiciels de POA et de l'appliquer à l'EP. Les sous objectifs sont :

- Cartographier les processus de planification et d'ordonnancement de l'EP;
- Capturer les besoins de l'EP relatif à la planification et à l'ordonnancement;
- Concevoir et appliquer au cas de l'EP une méthodologie de sélection améliorée de logiciels de POA.

Phase 3 - Développement : La phase de développement permet le développement des livrables nécessaire pour l'atteinte des objectifs de recherche. Les résultats obtenus dans cette phase sont présentés dans les sections qui suivent.

Dans les sections suivantes, nous présentons les principaux résultats de la phase de développement relatif aux deux premiers sous objectifs de la recherche qui sont la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement et la capture des besoins de l'EP. Les résultats relatifs au troisième sous objectif qui est la conception et l'application d'une méthodologie de sélection améliorée au cas de l'EP seront présentés au chapitre 4, dans l'article scientifique.

3.2 Cartographie des processus

Dans cette étude, deux processus de l'EP ont été cartographiés. Il s'agit de la planification et de l'ordonnancement des opérations. Pour ces deux processus, plusieurs similarités existent dans le choix de la méthode de cartographie, le développement du modèle préliminaire et l'étude de la saturation empirique. En effet, les deux processus seront développés en utilisant la même méthode de cartographie.

3.2.1 Cartographie du processus de planification

3.2.1.1 Choix de la méthode de cartographie de processus

Dans l'EP, les processus cartographiés à ce jour ont été cartographiés en utilisant la méthode du diagramme à flux croisés. Ainsi, afin d'assurer l'uniformité des formats et une facilitée d'appropriation de la part des employées de l'EP, le diagramme à flux croisés sera également utilisé pour la cartographie du processus de planification. Cependant, afin de concentrer un grand nombre d'informations agencées lisiblement, la logique de la méthode SIPOC sera intégrée au diagramme à flux croisés. Ceci permettra principalement d'identifier du même coup les fournisseurs et les clients des processus.

3.2.1.2 Modèle préliminaire du processus de planification

Comme indiqué dans la méthodologie, le modèle préliminaire du processus est une première vue du processus sur lequel s'appuie la première itération du cycle de conception. Après observation et participation au processus de planification des opérations dans l'EP au côté du responsable de la planification, le diagramme SIPOC de la figure 3.1 a pu être établi pour le processus de planification. Ce processus est déclenché sur une base mensuelle par le transfert au responsable de la planification de la demande des clients ou par la mise à jour des prévisions de ventes. Il se termine par la mise à jour de plusieurs documents qui sont par la suite transférés à l'ensemble des services de l'entreprise.

Les fournisseurs du processus de planification:

- F1 - Le service des réparations;
- F2 - Le service des ventes et des opérations.

Les intrants du processus de planification:

- I1 - *Service demand* : Demande prévisionnelle en projet de réparation (*Repair and Overhaul – R & O*) sur un horizon de 3 années. C'est un fichier Excel produit par le service des réparations une fois par mois.
- I2 - *SORB* : Demande prévisionnelle en nouvelle production sur un horizon de 3 années. C'est un fichier Excel produit chaque mois par le service des ventes et des opérations.

Le processus de planification se déroule en 3 principales phases :

- P1 - Le nivellement des charges et de la capacité;
- P2 - La validation du plan;
- P3 - La fermeture du processus.

Les extrants du processus de planification:

- E1 - *Capacity plan* mis à jour : Fichier Excel regroupant l'ensemble des capacités en ressources humaines. Il permet d'évaluer le ratio entre les requis et les besoins sur le long terme, le moyen terme et le court terme. Il permet également de situer sur l'horizon de planification, le temps de début et de fin des projets.
- E2 - *MSProject Master plan* mis à jour : Fichier MS Project, regroupant l'ensemble des plans MS Project des projets en cours dans l'entreprise.
- E3 - Nouveau *Brick chart* : Fichier Excel qui récapitule l'ensemble des projets à venir avec leur date de début et leur date de fin.

Les clients du processus de planification:

- C1 - Le service de la planification : Les employés du service de planification utilisent les extrants du processus pour suivre et contrôler la disponibilité des ressources.

C2 -L'ensemble des services de l'EP : À titre informatif sur les projets à venir.

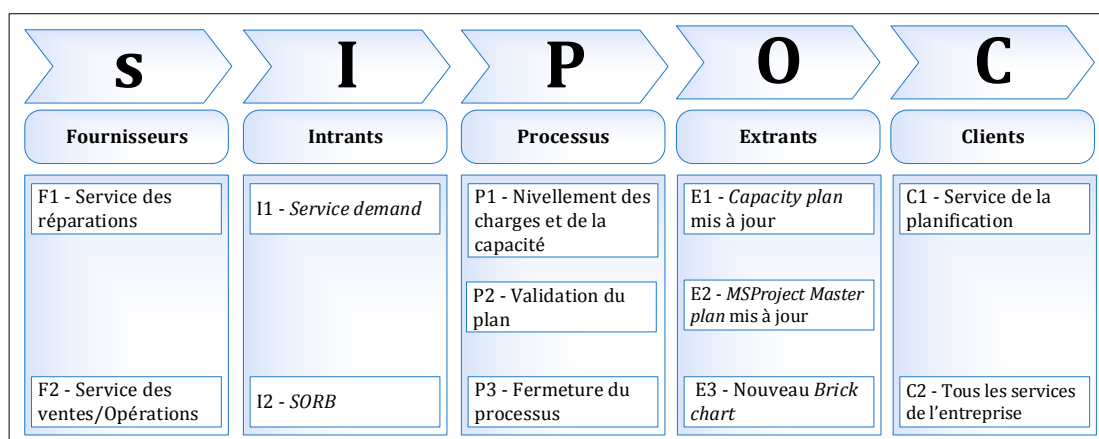


Figure 3.1 Cartographie préliminaire (SIPOC) du processus de planification de l'EP

3.2.1.3 Modélisation du processus de planification par cycle auteur-lecteur

Cette étape de la cartographie du processus a permis de collecter à travers une série d'entrevues (cycle de conception) un maximum d'informations sur les 3 processus de la planification (voir figure 3.1 du SIPOC) dans l'EP. Les informations qui ont été obtenues sont principalement les tâches, la séquence entre ces tâches et la durée de chaque tâche. Ces tâches sont regroupées dans les processus décrits ci-dessous :

P1 - Le nivellement des charges et de la capacité

Lorsque le responsable de planification reçoit le SORB du service des ventes et des opérations ou le *service demand* du service des réparations, il met à jour l'ensemble des plans MS Project ou crée de nouveaux plans MS Project pour les nouveaux projets. Par la suite, le fichier du plan de capacité est mis à jour pour refléter les changements. À ce niveau, deux issues sont possibles. La capacité de l'entreprise peut être soit équilibrée ou inférieure aux charges prévisionnelles. Dans le cas où la capacité est inférieure aux charges prévisionnelles, le responsable de la planification doit procéder au nivellement des charges et des capacités. À

L'issue de cette phase, le plan de capacité sera équilibré ou non aux charges. En effet, il arrive des fois où il est impossible pour le responsable de la planification d'équilibrer la capacité de l'entreprise aux charges prévisionnelles. Dans ces cas, le service des réparations et le service des ventes et des opérations seront appelés à revoir leur prévision de ventes ou à mettre en place un plan d'acquisitions de ressources supplémentaires, jusqu'à ce que la capacité de l'entreprise soit en mesure de couvrir les charges prévisionnelles sur les 3 années à venir. Une fois l'équilibrage des charges et de la capacité réalisée, le nouveau plan de capacité est transmis aux services pour validation.

P2 - La validation du plan

La validation du plan est faite par les services des réparations et le service des ventes et des opérations. Comme mentionné ci-dessus, le plan provenant du responsable de la planification doit être validé par ces deux services avant de pouvoir être implémenté dans l'EP. Ces services font des plans d'acquisition de ressources en fonction des charges prévisionnelles. Ils peuvent aussi réduire les ventes prévisionnelles si la charge est supérieure à la capacité de l'entreprise et qu'il n'y a pas de possibilité d'acquisition de ressources supplémentaires. Une fois le plan validé, le responsable de la planification est notifié des changements à apporter ou de l'approbation finale du plan. En cas de changement à apporter au plan, le processus recommence jusqu'à approbation du plan de capacité.

P3 - La fermeture du processus

La fermeture du processus de planification est réalisée par le responsable de la planification une fois l'approbation du plan de capacité faite par le service des réparations et le service des ventes et des opérations. La fermeture consiste à mettre à jour et à enregistrer l'ensemble des documents utiles à l'entreprise pour le suivi du plan (voir les extraits du processus de planification).

3.2.1.4 Présentation de la cartographie du processus de la planification

Dans l'EP, il n'existe à priori aucune représentation du processus de planification. Les tâches et leur durée d'exécution ainsi que les extrants du processus ne sont pas documentés. La présentation de la cartographie a été faite afin de permettre de mettre en avant l'ensemble de ces éléments en intégrant SIPOC et le diagramme à flux croisés. La figure 3.2 présente le résultat obtenu. La structure générale est constituée d'un ensemble de tâches représentées par des blocs rectangulaires et de livrables (documents) représentés par des blocs ondulés.

3.2.1.5 Étude de la saturation empirique

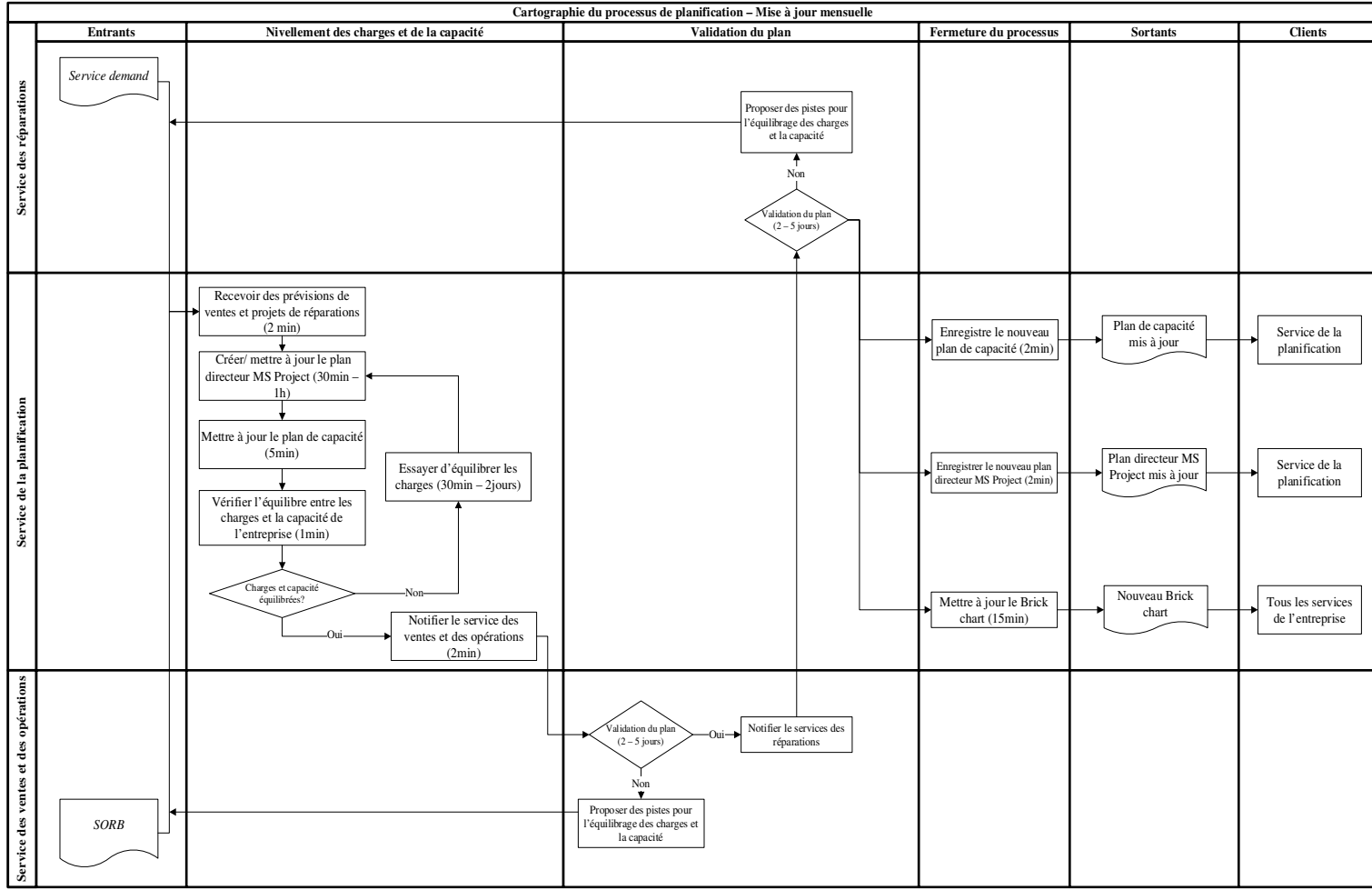
La cartographie du processus de planification a été réalisée selon la logique de la modélisation par cycle auteur – lecteur (cycle de conceptions) décrit dans la méthodologie. Le paramètre utilisé pour l'évaluation du critère de saturation empirique est le nombre de nouvelles informations récolté à chaque cycle. La figure 3.3 ci-dessous montre la stabilisation de la cartographie du processus de planification et du critère de saturation empirique. L'amélioration du modèle stagne à partir du septième cycle de conception ou le critère de saturation empirique passe au-dessus de 95 %.

3.2.1.6 Observations relatives à la cartographie du processus de planification

Cette cartographie du processus de planification de l'EP permet de faire les constats suivants :

- La durée pour la mise à jour de la planification à long terme varie de 2 heures à 6 heures. En considérant les temps de transfert d'information et de validation auprès des autres services, ce temps peut atteindre 3 jours.
- Les contraintes de production ne sont pas prises en compte dans la planification.

Figure 3.2 Cartographie finale du processus actuel de planification des opérations de l'EP (diagramme de flux croisés et SIPOC intégrés)



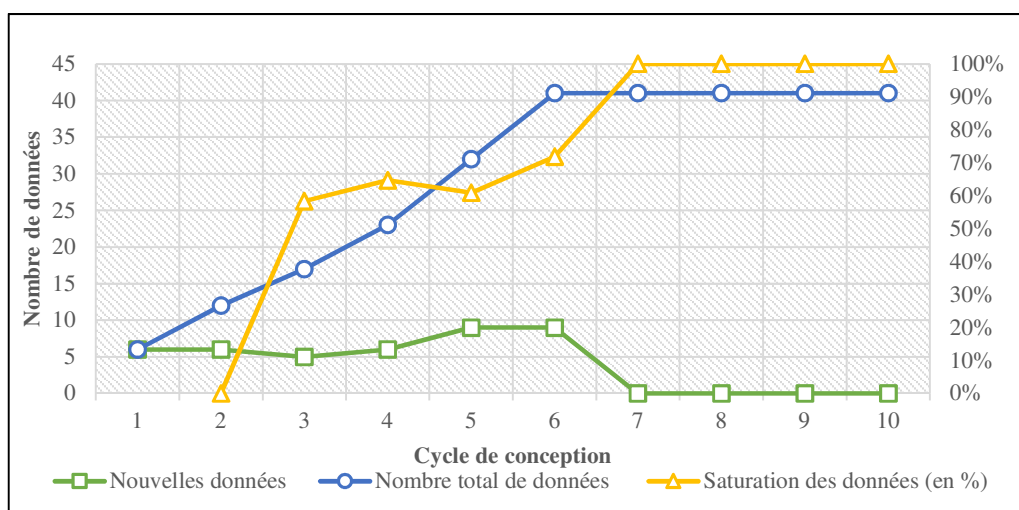


Figure 3.3 Évolution de la valeur de la saturation du modèle du processus de planification

3.2.2 Cartographie du processus d'ordonnancement

Ce processus diffère du processus de planification par le fait qu'il est enclenché sur une base hebdomadaire. Les intrants sont principalement le niveau d'avancement des tâches et les changements apportés sur les projets. Les éléments en bout de processus sont les mêmes que ceux du processus de planification, auxquelles s'ajoutent le document *Energy Kit* et les nouveaux plans de d'opérations.

3.2.2.1 Choix de la méthode de cartographie de processus

Pour les mêmes raisons que pour la cartographie du processus de planification, la méthode de cartographie qui a été utilisée pour la cartographie du processus d'ordonnancement est le diagramme de flux croisés auquel a été intégrée la logique du diagramme SIPOC. Ceci permettra d'assurer l'uniformité des formats et une facilitée d'appropriation de la part des employés de l'EP.

3.2.2.2 Modèle préliminaire du processus d'ordonnancement

L'observation et la participation au processus d'ordonnancement au côté du responsable de l'ordonnancement des opérations ont permis l'identification des différents éléments du diagramme SIPOC de la figure 3.4 ci-dessous. Le processus est enclenché sur une base hebdomadaire. Les intrants sont principalement le niveau d'avancement des tâches et les changements apportés sur les projets. Les éléments en bout de processus sont les mêmes que ceux du processus de planification, auxquelles s'ajoute le document *Energy Kit*.

Les fournisseurs du processus sont :

- F1 - La gestion de l'atelier;
- F2 - Le service des ventes et des opérations.

Les intrants du processus d'ordonnancement sont :

- I1 - Avancement réel des opérations;
- I2 - Demandes et exigences des clients : de nouvelles demandes peuvent arriver en semaine ou les clients peuvent souhaiter le changement des dates de livraison des produits.

Le processus de planification se déroule en 3 principales phases :

- P1 - Le nivellement des charges et de la capacité;
- P2 - La validation du plan;
- P3 - La fermeture du processus.

Les extrants du processus de planification:

- E1 - *Capacity plan* mis à jour : Fichier Excel regroupant l'ensemble des capacités en ressources humaines. Il permet d'évaluer le ratio entre les requis et les besoins sur le long terme, le moyen terme et le court terme. Il permet également de situer sur l'horizon de planification, le temps de début et de fin des projets.
- E2 - *MSProject Master plan* mis à jour : Fichier MS Project, regroupant l'ensemble des plans MS Project des projets en cours dans l'entreprise.

E3 -Nouveau *Brick chart* : Fichier Excel qui récapitule l'ensemble des projets à venir avec leur date de début et leur date de fin.

E4 -Les nouveaux plans d'opérations.

E5 -Nouveau *Energy Kit* : Il s'agit d'un fichier Excel comportant la liste des dates de passation des ordres de commande et les dates de livraisons prévues. Le fichier est destiné à la chaîne d'approvisionnement qui doit assurer la disponibilité des ressources de production.

Les clients du processus d'ordonnancement sont :

C1 -Le service de la planification;

C2 -Gestion de l'atelier : Les nouveaux plans d'opérations sont transmis au responsable de l'atelier de production et remis par la suite aux chefs d'équipe;

C3 -L'ensemble des services de l'EP.

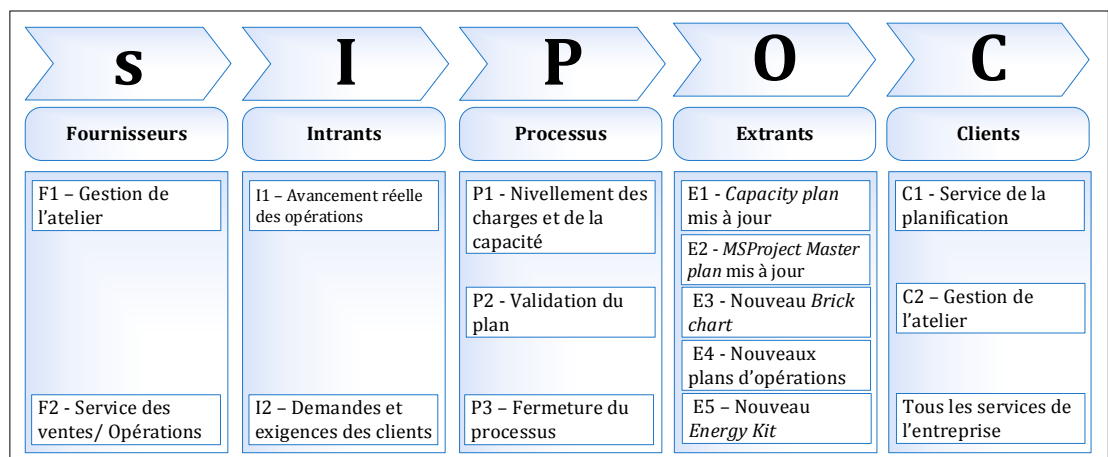


Figure 3.4 Cartographie préliminaire (SIPOC) du processus d'ordonnancement de l'EP

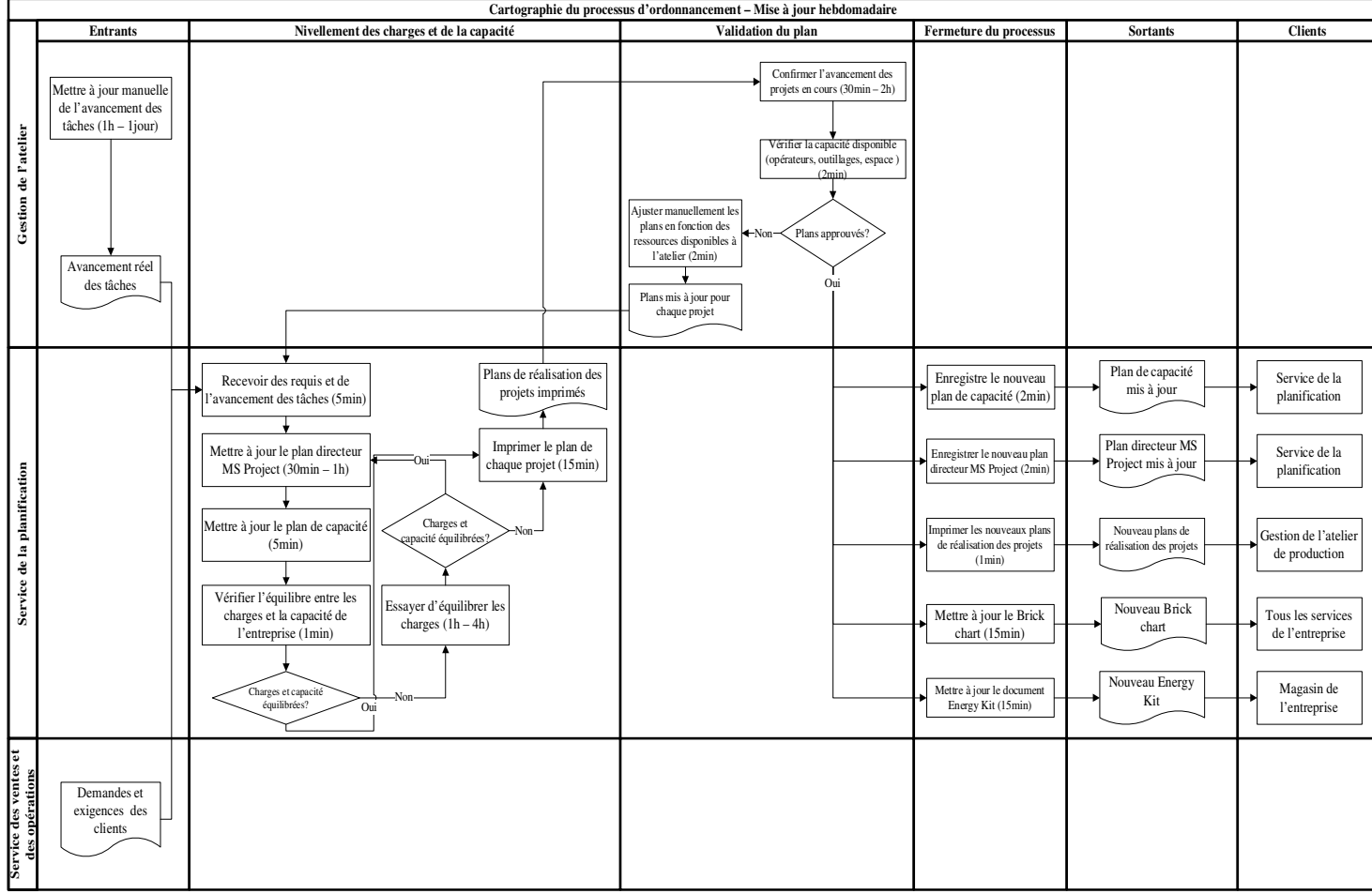
3.2.2.3 Modélisation du processus d'ordonnancement par cycle auteur-lecteur

Le processus d'ordonnancement présente plusieurs similarités avec le processus de planification du point de vue logique et structurel. Ici aussi, nous avons trois processus (voir SIPOC). L'ordonnancement des opérations est fait une fois par semaine et reste valide pour la semaine suivante. Le responsable de l'ordonnancement reçoit l'avancement réel des tâches sur le plancher et les exigences des clients pour mettre à jour le plan de capacité. Le nivellement des charges et de la capacité est fait par le responsable de l'ordonnancement dans le but d'équilibrer les charges et la capacité de l'entreprise sur l'horizon d'ordonnancement qui est d'une semaine. La validation du plan est faite par le gestionnaire de l'atelier qui s'appuie sur les ressources humaines disponibles sur le plancher pour amender le plan de capacité proposé par le responsable de l'ordonnancement ou pour l'approuver. Le plan de capacité est validé seulement lorsque la charge de travail est en équilibre avec la capacité de l'entreprise. Tout comme le processus de planification, la fermeture du processus d'ordonnancement est réalisée par le responsable de la planification une fois l'approbation du plan de capacité faite par le gestionnaire de l'atelier. Les documents nécessaires au suivi des plans (voir les extraits du processus de planification) sont mis à jour et à enregistrés. Parmi ces documents, le plus important est la répartition des tâches par poste de travail de l'atelier. Tout comme pour le cas de la planification, il n'existe aucune représentation du processus d'ordonnancement dans l'EP. La figure 3.5 ci-dessous présente la représentation obtenue.

3.2.2.4 Étude de la saturation empirique

La cartographie du processus d'ordonnancement a été réalisée selon la logique de la modélisation par cycle auteur – lecteur (cycle de conceptions) décrit dans la méthodologie. Ici aussi le paramètre utilisé pour l'évaluation du critère de saturation empirique est le nombre de nouvelles informations récolté à chaque cycle. La figure 3.6 montre la stabilisation de la cartographie du processus d'ordonnancement et du critère de saturation empirique. L'amélioration du modèle stagne également à partir du septième cycle de conception ou le critère de saturation empirique passe au-dessus de 95 %.

Figure 3.5 Cartographie finale du processus actuel d'ordonnancement des opérations de l'EP (diagramme de flux croisés et SIPOC intégrés)



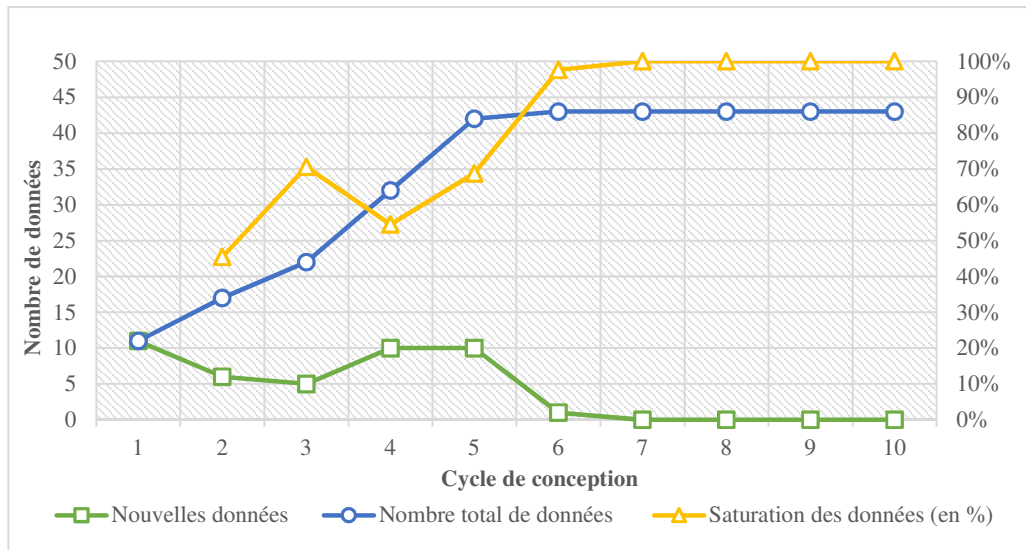


Figure 3.6 Évolution de la valeur de la saturation du modèle du processus d'ordonnancement

3.2.3 Observations relatives à la cartographie du processus d'ordonnancement

Cette cartographie du processus d'ordonnancement de l'EP permet de faire les constats suivants.

- Le suivi des opérations et de l'avancement des tâches est fait sur une base hebdomadaire. Ceci suppose que la capture des écarts dans l'avancement des opérations est faite une fois par semaine (très loin des mises à jour en temps réel).
- Parmi les nombreuses contraintes de production (espaces sur le plancher, matériels, opérateurs, approvisionnement), seules les ressources humaines sont considérées.
- La communication entre les parties intervenantes dans le suivi des opérations n'est pas assez structurée. On dénombre un flux important de documents papier.
- La durée pour la mise à jour des cédules est d'environ 3 heures dans le meilleur des cas et peut aller jusqu'à 6 heures. Au niveau de l'atelier, 1 heure est dédiée chaque jour pour la mise à jour de l'avancement des tâches et 30 minutes à 2 heures par semaine pour valider les cédules. Au total, la mise à jour des cédules équivaut à environ 8 heures et 30 minutes par semaine dans le cas optimiste et à 13 heures dans le cas pessimiste.

- Les informations ne sont pas centralisées et il n'est pas possible de réaliser des scénarios *what if* pour analyser l'impact des changements sur les cédules.
- Le système de planification ne bénéficie pas de l'historique de planification, car il n'y a pas de base de données pour l'enregistrement des projets complétés. La planification est beaucoup plus statique que dynamique et ne bénéficie pas de mises à jour quotidiennes.

3.3 Capture simultanée des besoins pour la planification et l'ordonnancement

Dans cette section, nous présentons les besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations qui ont été identifiés. Comme indiqué dans la section méthodologie, 12 personnes (preneurs de décisions) de l'EP ont participé à la capture des besoins (Section 2.4.1).

3.3.1 Établissement de la liste préliminaire des besoins

La liste préliminaire des besoins de l'EP a été établie à partir de la cartographie des processus faite plus haut et des résultats de l'enquête par questionnaire adressé aux 12 personnes identifiées dans l'échantillon (*Voir ANNEXE IV, p 145*). Pour cause d'indisponibilité, seulement 8 personnes dont 3 du service des réparations, 3 du service de la planification et 2 du service de l'amélioration continue ont répondu à l'enquête (*Voir ANNEXE V, p 146*) et 8 besoins ont été identifiés (Tableau 3.1). Ces besoins ont été regroupés en 3 catégories, ceux relatifs à la technologie, ceux relatifs aux fonctionnalités et ceux relatifs à l'interface utilisateur. Notons par ailleurs que ces besoins sont propres à l'EP et ont été directement exprimés par cette dernière. Ces besoins traduisent « la voix de l'entreprise ».

Tableau 3.1 Liste préliminaire des besoins et des attentes de l'EP

Technologie	
1 -	Intégrer les cédulas du personnel sur trois années.
2 -	Intégrer les contraintes sur les compétences du personnel
3 -	Intégrer les contraintes d'espaces sur le plancher
4 -	Permettre des scénarios « What-if » sans impacter le plan officiel
Fonctionnalités	
5 -	Afficher l'avancement réel et planifié des tâches
6 -	Permettre l'extraction des mesures de performance souhaitées
7 -	Signaler les conflits de tâches et les options de corrections
Interface utilisateur	
8 -	Avoir un aspect visuel attrayant permettant la prise rapide des décisions

3.3.2 Processus par cycle auteur-lecteur pour la capture des besoins

Cette étape de la capture des besoins a permise à travers des cycles de conception d'obtenir une liste définitive des besoins de l'EP. La liste préliminaire a servi pendant le premier cycle de conception.

3.3.2.1 Collecte et traitement des données

À chaque cycle de conception, des données ont été collectées et traitées. En effet, durant les entrevues de groupe organisées avec les 12 personnes de l'EP identifiées dans l'échantillon, la liste des besoins obtenus à l'issue du cycle de conception précédent était passée en revue. De nouvelles données étaient collectées. Ces données étaient par la suite traitées afin d'affiner la liste des besoins en y rajoutant de nouveaux besoins identifiés ou en y retirant ceux jugés pas pertinents pour l'EP. Une liste définitive de 31 besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement a pu être établie (Tableau 3.2). Par ailleurs, on peut observer dans ce tableau 3.2 des marques « x » traduisant le fait qu'un besoin soit relié à la planification et/ou à l'ordonnancement des opérations.

Tableau 3.2 Liste finale des besoins de l'EP

Besoins de l'EP capturés			Planification	Ordonnancement
Technologie	1	Intégrer les cédules du personnel sur trois années.	x	x
	2	Intégrer les contraintes sur les compétences du personnel	x	x
	3	Intégrer les contraintes d'espaces sur le plancher	x	x
	4	Intégrer les contraintes sur les outils critiques	x	x
	5	Gérer jusqu'à 100 moteurs en même temps		x
	6	Contrôler le niveau d'encours		x
	7	Niveler les capacités et la charge de travail	x	x
	8	Permettre des scénarios « What-if » sans impacter le plan officiel	x	x
	9	Mesurer les performances à la fin de chaque projet		x
	10	Capturer l'avancement réel sur le plancher des tâches		x
	11	Ajouter des informations à un projet en cours de réalisation		x
	12	Se connecter à SAP, Excel et à tous systèmes MES	x	x
	13	Pouvoir fonctionner en dehors du réseau informatique de l'entreprise	x	x
Fonctionnalités	14	Simple à opérer (ajouts de projets, ajout d'informations, etc.)	x	x
	15	Consulter le planification par niveaux (Moteurs, modules, sub-kit, ressources, etc.)		x
	16	Établir une base de données consultable des projets terminés		x
	17	Afficher au besoin le chemin critique des projets		x
	18	Fournir des KPI (taux d'absorption, utilisation des ressources, etc.)	x	x
	19	Signaler les conflits de tâches et les options de corrections		x
	20	Signaler les violations de contraintes et les options de corrections		x
	21	Produire des cédules réalistes et optimales		x
	22	Permettre l'extraction des données sous format texte.	x	x
Interface utilisateur	23	Permettre l'extraction des mesures de performance souhaitées	x	x
	24	Afficher l'utilisation des capacités (employé, espaces, matériels)		x
	25	Vue d'ensemble de tous les projets à l'écran		x
	26	Possibilité d'isoler à l'écran la vue d'ensemble d'un projet particulier		x
	27	Possibilité d'entrer manuellement l'avancement des tâches.		x
	28	Permettre le suivi des approvisionnements		x
	29	Afficher l'avancement réel et planifié des tâches		x
	30	Afficher les dates à risque et les contraintes		x
	31	Avoir un aspect visuel attrayant permettant la prise rapide des décisions	x	x

3.3.2.2 Étude de la saturation empirique

Comme indiqué dans la méthodologie, le paramètre utilisé pour l'étude de la saturation empirique est le nombre de nouvelles informations récolté à chaque cycle de conception

(atelier de groupe). La figure 3.7 ci-dessous montre la stabilisation du critère de saturation empirique. Comme présenté dans la section 2.4.4, le premier atelier de groupe regroupe les 9 « acteurs secondaires » de l'échantillon tandis que les ateliers suivants sont réalisés avec les 3 « acteurs principaux ». L'amélioration de la liste des besoins stagne à partir du septième cycle de conception, où la valeur du critère de saturation empirique passe au-dessus de 95 %.

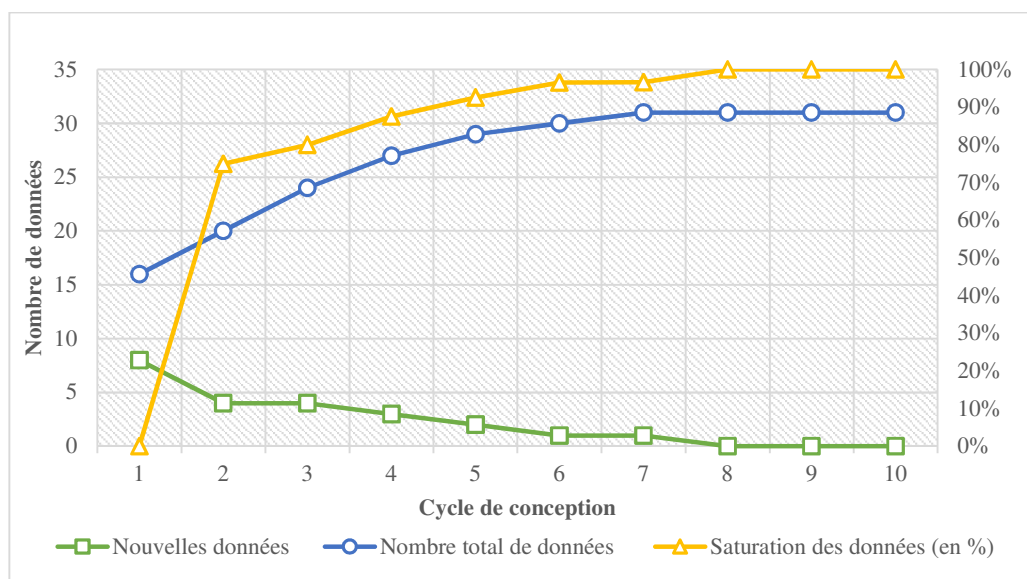


Figure 3.7 Évolution de la saturation du processus de capture des besoins de l'EP

3.4 Conclusion

Ce chapitre a présenté une partie des résultats obtenue dans le cadre de cette étude. Il s'agit notamment des résultats relatifs aux deux premiers sous objectifs de la recherche qui sont la cartographie des processus et la capture des besoins de l'EP. Ainsi, les cartographies du processus de planification et du processus d'ordonnancement de l'EP ont été présentées. Ces cartographies ont été réalisées en utilisant le diagramme à flux croisés comme méthode auquel la logique du diagramme SIPOC a été intégrée. Ces cartographies ont été utilisées par la suite dans la phase de capture des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement. Une liste préliminaire de 8 besoins a été établie. Suite aux cycles de

conceptions (séries d'entrevues), cette liste préliminaire a été portée à 31 besoins. Ces besoins ont été regroupés en trois catégories. La première catégorie relative à la technologie comporte 13 besoins, la deuxième catégorie relative aux fonctionnalités regroupe 10 besoins tandis que la troisième catégorie regroupe 8 besoins.

CHAPITRE 4

A NOVEL APS SOFTWARE SELECTION METHODOLOGY INTEGRATING FUZZY QFD, FUZZY AHP AND FUZZY VIKOR

Fabrice Chilly Ngamaleu Piengang ^(a), Yvan Beauregard ^(b), Jean-Pierre Kenné ^(c)

^{a, b, c} Department of Mechanical Engineering, École de technologie supérieure,
1100 Notre - Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada, H3C 1K3

Article soumis pour publication à la revue *Computers & Industrial Engineering*, Mars 2018

4.1 Abstract

With important advancements achieved in information technology, wide varieties of advanced planning and scheduling (APS) software has emerged in recent decades. Each of those APS software uses their own techniques, algorithms and logic to plan and schedule operations, which makes the task of evaluating them very difficult. However, choosing the right APS software is critical for companies because of significant money engaged and risk of disturbing operations management. Presently, it does not exist a clear, structured and scientific approach in the literature for APS software selection. The goal of this paper is to fulfill this lack by developing an APS software selection methodology. The novel methodology is based on the integration of a modified version of fuzzy quality function deployment (QFD) and two well-known multiple criteria decision-making (MCDM) techniques, namely fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy VIKOR. This work considers both company needs and APS selection criteria and sub criteria to build a hybrid hierarchical decision structure. House of quality (HOQ) helps in translating the relevance of the company needs in the evaluation of criteria and sub criteria. Triangular fuzzy numbers are also used to reduce uncertainties in the process. An application of the proposed methodology to a real aero-derivative gas turbine company case is carried out to demonstrate the useful and easy implementation of the proposed methodology.

Keywords: Planning and scheduling, APS, Selection, decision-making, Fuzzy set theories, Multiple criteria decision-making (MCDM), Fuzzy AHP, Fuzzy QFD, Fuzzy VIKOR.

4.2 Introduction

With important advancements achieved in the information technology field and constant growth of market challenges mainly coming from increasing customer demands for high-quality products at low price (Martin & Ola, 2011), manufacturing industries tend to turn to computational solutions to manage their activities. Among those computational solutions, a well-known and relatively new model is advanced planning and scheduling (APS). Planning and scheduling are two processes that ensure the best balance between offer and demand systems of the enterprise by supporting decisions about the distribution of quantities to be produced, the definition of capacity levels and supply. Planning is about a long-term vision of the business while scheduling is interested in the medium term but much more in the short term. APS is used by manufacturing companies for planning and meeting customer demand using finite material availability and resource capacity constraints at enterprise level as well as at plant level (Hvolby & Steger-Jensen, 2010).

In practice, companies have two options. They can either develop their own customized APS system based on their activities specifications or select and implement existing APS software available on the market. Due to the lack of professional expertise and experience in developing such in-house systems, many companies preferred the second option (Ayağ & Özdemir, 2007). Unfortunately, there is not yet a clear and structured approach in the literature to assist them in the selection of APS software among the more than 100 alternatives available on the market with different strengths and weaknesses. The purpose of this paper is to design for company decision makers (DM) involved in APS software selection, a novel methodology that will help them to select the APS software that best accommodate to the company environment.

Selection of manufacturing software has been largely addressed in the literature and several selection methodologies have been developed. Those methodologies are mainly based on analytical hierarchy process (AHP), which is one of the multiple criteria decision-making (MCDM) methods. As examples, Azadeh et al. (2010) applied AHP for evaluating and selecting the appropriate simulation software package. Haiqing, Bouras, Ouzrout, et Sekhari (2014) proposed an integrated AHP and VIKOR (VIsekriterijumsko KOMpromisno Rangiranje) methodology for selection of a product lifecycle management (PLM) systems. Those methodologies developed in the literature cannot be used for the selection of APS software because APS software selection criteria are different. In addition, although those methodologies lead to a choice, they do not directly take into account the company needs. Only the opinions of experts are considered through the assessment of the selection criteria. But the experts being external to the company, they are not aware of the real situation and needs of the company. Thus, the resulting choices from those methodologies run the risk of not meeting the needs of the company, even if they appear to be the best regarding criteria. Fortunately, in the literature there exist some methodologies considering company needs. Those methodologies are based on Quality function deployment (QFD) and they used House of quality (HOQ) to capture the company needs at the company level. As an example, we have the methodology proposed by Bevilacqua, Ciarapica, et Giacchetta (2006), which used QFD for the selection of suppliers. QFD helps in considering the needs of the company but does not take into account the selection criteria and then the expert opinions. This is a limit for methodologies based on QFD. Finally, we note that on one side, there are selection methodologies based on the evaluation of selection criteria by experts (AHP) and on the other side there are methodologies based on the company needs (QFD). The methodology developed in this paper integrated both methods QFD and AHP in order to benefit from expert opinions on selection criteria while making sure real company needs are considered in the selection process. VIKOR method is integrated in the developed methodology in order to allow the selection of a feasible solution that is the closest to the ideal. Furthermore, fuzzy logic is used to reduce vagueness and uncertainty in judgments involving human.

Among the important contributions of this paper, we would like to emphasize that (1) the integration of QFD and AHP is achieved by introducing a modified version of the HOQ in order to be able to consider the assessment of criteria from experts, (2) a list of selection criteria for APS software is built through literature review and semi structural interviews with APS experts, and (3) a hybrid hierarchical decision structure with five stages is used to bring company needs in the selection process.

Figure 4.1 presents the structure of the problem. Stakeholders are decision makers (DM) recruited among company employees, and experts recruited among professionals, professors and consultants. Experts contribute to identifying criteria and sub criteria and to evaluate them. Criteria are high levels dimensions containing sub criteria, which are low levels dimensions used to evaluate alternatives. Experts also evaluate alternatives (software retained for the selection process). DMs are the ones who identify and evaluate company needs (what the company expect the selected software would be able to solve).

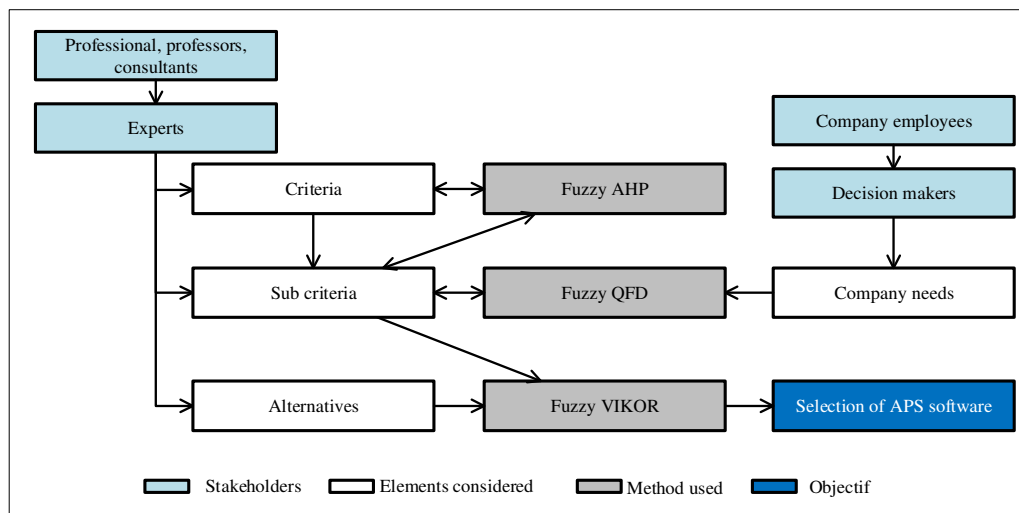


Figure 4.1 Conceptual map of the problem

The rest of the paper is structured as follows. In section 4.3, a review of decision-making problems related to selection, especially on engineering software selection, as well as a review of different approaches used for such problems. In section 4.4, materials and methods

are presented. This includes the set of criteria to be considered in APS software selection as well as some techniques used in the literature. In section 4.5, the proposed methodology for APS software selection is presented. In section 4.6, the methodology developed is applied to a real company case in order to demonstrate its applicability and the effectiveness. Finally, in section 4.7, a discussion is conducted and the proposed methodology is validated by comparing it with alternative methodology developed in the literature.

4.3 Literature Review

Selection and implantation of an APS software for a company is a crucial decision-making problem which involves several financial, operational risks and sources of uncertainties. In fact, some company needs can be missed during the selection process. On the other hand, in the event of implantation of software that doesn't meet company needs, the company runs the risk of losing significant money engaged for the acquisition of the software and the use of resources for the implantation. Significant inconvenience can also be caused in the management of operations with bottlenecks leading to longer makespan and eventual loss of customers. Uncertainty arises mainly from opinions collected from stakeholders. These include evaluation of alternatives and pair-wise comparison of criteria. Thus, selection of an APS software can be seen as a multi-criteria decision-making problem under uncertainties and risk.

4.3.1 Advanced Planning and Scheduling (APS)

One of the first planning systems developed were Material Requirements Planning (MRP) systems that evolved over time to produce Manufacturing Resource Planning (MRP II) systems. Today, adding to those systems, we also find the Enterprise Resource Planning (ERP) systems, considered as successors of the MRP II systems.

MRP systems have been developed for basic processes such as production planning and inventory management. Capacity constraints, financial considerations and forecasts are not taken into account in MRP. MRP II is an improvement to the MRP to overcome the above mentioned MRP limits. MRP II systems consider the constraints on the finished production capacities (limits of the capacity of production) but materials and capacity are planned separately with no consideration to material or capacity constraints, leading to infeasible plans. ERP, on the other hand, is an integrated system that not only provides deep visibility into manufacturing processes (like MRP II systems), but also supports important aspects of managing a business (project management, accounting, supply chain, etc.). Recently, a new planning concept has emerged. This is APS system, that are considered as an extension of MRP II and ERP (Patrik et al., 2007), (Sadowski, 1998). The APS deals with the optimal allocation of production resources in the manufacturing environment, while ensuring that production constraints are met and that the main production objective is achieved (Chen et al., 2011). With APS systems, it is possible to simultaneously plan and schedule operations based on available materials, labour and plant capacity. APS is especially well-suited to environments addressing complex trade-offs between competing priorities and where production scheduling is intrinsically very difficult due to the factorial dependence of the size of the solution space on the number of items to be manufactured.

4.3.2 Selection of Engineering Software

In the literature, selection problems regarding engineering software have been largely addressed. For example, Sen et al. (2009) developed a decision support model for enterprise software selection considering qualitative and quantitative objectives in a multi-objective mathematical programming model. Ashu, Brijesh, et Rakesh (2017) proposed a methodology for software effort estimation models evaluation and selection. Azadeh et al. (2010) presented a robust decision-making methodology for evaluating and selecting simulation software package. Eastham et al. (2014) developed an approach to serve as a guide to assist with selection of product lifecycle management (PLM) software. Lai, Wong, et Cheung (2002) worked on the selection of multimedia authorizing system (MAS). Concerning ERP

software, Torsten et Sven (2013) brought out recommendations for selecting, implementing and sustainably operating ERP systems using Architecture of Integrated Information Systems (ARIS) concept. Yazgan et al. (2009) introduced a method for ERP software selection using Artificial Neural Network (ANN). Kahraman, Beskese, et Kaya (2010) developed an ERP outsourcing selection methodology.

However, very little attention has been paid to the selection of APS software. As with most engineering software, there are a large number of APS software available on the market, each with its own strengths and weaknesses. There is therefore a selection problem for companies wishing to implement such solution. Some of the rare research papers with relevant elements on APS selection are Sadowski (1998) and Božek (2012), which highlighted some criteria that must be taken into account when selecting APS software. Hagazi et Guo (2013) provided an overview of the main steps involved in the process, with important indicators for choosing and using APS software.

4.3.3 Methods and Approaches Used for Selection Problems

Methods regularly used in the literature to address selection problems can be grouped in four different categories namely (i) MCDM, (ii) mathematical programming methods, (iii) artificial intelligence methods and (iv) integrated approaches (Hanine et al., 2016).

(i) Regarding MCDM methods, they can be grouped according to whether they use a descriptive logic leading to the establishment of an order (ordinal methods) or that they use a quantitative logic (cardinal methods). As cardinal methods, the most used ones in selection problems are AHP and ANP. As ordinal methods, we can list ELECTRE (ELimination and Choice Expressing Reality), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (PReference ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) and VIKOR (VIsekriterijumsko KOMpromisno Rangiranje). Eastham et al. (2014) developed a methodology utilizing AHP to assist with selection of product lifecycle

management (PLM) software. Lai et al. (2002) used AHP technique to support the selection of a multimedia authorizing system (MAS). Cherrared, Zekiouk, et Chocat (2011) applied AHP for assessing the functional performance of urban Sewer Systems (SS). Chuang, Kung, Lin, et Ku (2011) used TOPSIS method to build an expert decision-making approach. Zaini et Quqandi (2015) proposed an improve process for software selection method based on TOPSIS approach. San Cristóbal (2011) applied VIKOR method in the selection of renewable energy project. Vetschera et de Almeida (2012) used PROMETHEE method for portfolio selection problems.

(ii) Mathematical programming methods can contain data envelopment analysis (DEA), linear programming and multi-objective programming. Baldin (2017) proposed a DEA approach for selecting a bundle of tickets for performing arts events. Li, Chen, Cook, Zhang, et Zhu (2017) used a two-stage network DEA method to rank alternatives and find the leader.

(iii) Artificial intelligence methods include genetic algorithm, artificial neural network (ANN) and data mining methods. Guo, White, Wang, Li, et Wang (2011) applied genetic algorithms approach to optimize feature selection in software product lines. Yazgan et al. (2009) introduced a new method for ERP software selection using ANN model that is trained by results obtained from ANP to build priorities for the selection of the best ERP software.

(iv) Concerning integrated approaches, those bring together several methods. In the literature, there is a very large number of works using this type of approach. Integration is done using either MCDM methods only or a mix of different categories of methods. About integrated approaches using only MCDM methods, Hanine et al. (2016) developed a decision-making application employ AHP and TOPSIS for Extract Load Transform (ETL) software selection purpose. Zaidan et al. (2015) carried out a comparative study with the goal of evaluating and selecting open source electronic medical record (OS-EMR) software using AHP integrated to TOPSIS. Opricovic et Tzeng (2004) carried out a comparison study between VIKOR and TOPSIS method through the development of a selection methodology. About integrated approaches mixing different categories of methods, Martin-Utrillas, Reyes-Medina, Curiel-

Esparza, et Canto-Perello (2015) used a combination of AHP based on expert data obtained from Delphi method and VIKOR method to reach a consensus solution for choosing the optimal combination of techniques to depollute leachate. Yu, Xu, et Ma (2013) developed a methodology using PROMETHEE and linear optimization models to overcome the drawbacks of the existing MCDM methods. Ivlev, Vacek, et Kneppo (2015) proposed a decision support tool based on AHP and Delphi method for medical devices selection under uncertain conditions. Opricović et Tzeng (2008) found through a comparative analysis of VIKOR, DEA and CCR-DEA that DEA could be used as a supplement for screening alternatives within MCDM.

On the other hand, beside all those selections approaches presented, fuzzy logic has been integrated into many works in the literature in order to overcome uncertainties. For examples (Ayağ & Özdemir, 2007) used fuzzy ANP to develop an intelligent approach for ERP software selection. Azadeh et al. (2010) presented a decision-making methodology based on fuzzy AHP for evaluating and selecting simulation software package. Hicdurmaz (2012) introduced MCDM method in software lifecycle model (SLCM) selection and proposed a fuzzy methodology to conduct the process using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS.

4.4 Materials and Methods

4.4.1 Criteria and sub criteria in APS Software Selection

Although in the literature there is no work addressing directly criteria that should be considered when selecting APS software, the follows papers have highlighted some of them. Those are Sadowski (1998), Efe (2016) and Božek (2012). Sadowski (1998) have highlighted five criteria that are “features”, “integration”, “technology”, “platform” and “price”. Efe (2016) integrated AHP and TOPSIS to develop a selection methodology for ERP software and as one of the results, they built a list of selection criteria among which two were judged pertinent for APS software selection. Those are “vendor specifications” and “ease of use”. In

his work, Božek (2012) compared a set of APS software with respect to some elements among what some were judged pertinent for APS software selection as sub criteria. Those are “interactive Gantt chart”, “resource calendar editor”, “advanced planning algorithms” and “report generator”. We finally count 7 criteria and 5 sub criteria collected from literature that can be directly related to APS software selection.

At this point, it cannot be assumed that this list of criteria is exhaustive. There comes the problem of building a list of criteria for APS software selection. This is similar to data collection problems that have been intensively addressed in qualitative research. From this initial list of criteria collected from literature, interviews will be organized with experts. During those interviews, experts will be ahead to review the list of criteria and sub criteria extracted from the literature review and past interviews. The empirical saturation criteria used in qualitative research will help to confirm that enough criteria and sub criteria have been collected. Empirical saturation means that new inputs are no longer provided during interviews and this marks the end of the data collection process (L. Strauss & Corbin, 1990). In fact, in empirical saturation technique (Galvin, 2015) a percentage of data expected to be collected is firstly set as target. After each interview, data saturation is calculated (ratio between the amount of new data collected and the amount of data that have been already collected) and compared to the target value. If it is at least equal to the target value, then we assume that further interviews will not provide data more. In the literature, the recommended target value is 95% (Galvin, 2015). This means that once interviews do not bring in at least and 5% new criteria versus of the already collected set of criteria, the interview process can be stopped.

4.4.2 Stakeholders

As mentioned above, stakeholders in selection problems are generally DMs and experts. Experts come from professionals, professor and consultants. Experts help mainly to identify criteria and sub criteria, build comparison pair-wise matrix, and also in evaluating alternatives with respect to sub criteria. In fact, it is assumed that experts are the ones best

mastering the behaviour of alternatives and their relation with selection criteria. DMs are employees of the company that solicit the selection. DMs help in identifying the needs of the company and in weighting them. It is assumed that they are the ones best mastering the real situation and needs of the company. The concern here is the assembly of the panel of experts and DMs that can best carry those missions, since they generally have different backgrounds. To tackle this problem, some works in the literature have highlighted key factors to consider while constituting the panel. For example, Kahraman et al. (2010) recommended considering the experience, the knowledge and the discipline as factors. Another work on the constitution of experts' panel is Ivlev et al. (2015) that proposed to focus on the overall work experience, the experience in solving tasks, the level of education, the scientific record, the interest in solving the particular problem, the current position and the awareness on how to solve the problem.

4.4.3 Fuzzy Set Theories and Linguistic Variables

A fuzzy set F is a normal and convex set, on the real numbers \mathbb{R} (Maritan, 2015). Fuzzy set was first introduced by Zadeh (1965) to deal with vagueness and imprecision of the data. They help in integrating vagueness, uncertainties and ambiguity in the decision-making process and enhance the potential of conventional methods (Ayağ & Özdemir, 2007). Nowadays, there are several variants of fuzzy numbers. The most commonly used in selection problems are triangular fuzzy numbers (Ayağ & Özdemir, 2007), (Azadeh et al., 2010), (Hicdurmaz, 2012), (Efe, 2016), (Shi & Yang, 2009), (Ashtiani & Abdollahi Azgomi, 2016), (Ashu et al., 2017), (Sen et al., 2009), (Amir & Alireza, 2016). The other fuzzy number variants in selection problems are trapezoidal fuzzy numbers (Kahraman et al., 2010), interval-valued fuzzy numbers (Liu & Jin, 2012) and intuitionists fuzzy numbers (J. Wu & Liu, 2013), (S.-M. Wu, Liu, & Wang, 2017), Otay, Oztaysi, Cevik Onar, et Kahraman (2017); (Tan & Chen, 2011), (Buyukozkan, Feyziolu, & Gocer, 2016).

Regarding triangular fuzzy numbers (TFN), if \tilde{M} is a TFN, then it can be expressed by a triplet of real numbers as $\tilde{M} = (a, b, c)$ and its memberships function is defined by the equation 4.1 (Maritan, 2015). Let x be a real number.

$$V(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad \text{Where} \quad \begin{cases} a < b < c \\ a, \text{ the lower bound of the } \tilde{M} \\ b, \text{ the middle bound of the } \tilde{M} \\ c, \text{ the upper bound of the } \tilde{M} \\ V(x), \text{ the level of importance of the } \tilde{M} \end{cases} \quad (4.1)$$

In other hands, arithmetical operations in fuzzy sets are different from what is used with standard real numbers. Let be $\tilde{A} = (a_1, b_1, c_1)$ and $\tilde{B} = (a_2, b_2, c_2)$ two TFNs. Table 4.1 summarizes arithmetical operations in a triangular fuzzy set.

Table 4.1 Equivalent operations between standard real numbers and TFN
Adapted from (Maritan, 2015)

Traditional operations	Fuzzy equivalent operations
Addition	$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$
Subtraction	$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2)$
Scalar multiplication	$\beta \tilde{A} = (\beta a_1, \beta b_1, \beta c_1)$ if $\beta \geq 0$
	$\beta \tilde{A} = (-\beta c_1, \beta b_1, -\beta a_1)$ if $\beta \leq 0$
Vectorial multiplication	$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a, b, c) = \begin{cases} Z = \min (a_1 a_2, a_1 c_2, c_1 a_2, c_1 c_2) \\ a = \min Z \\ b = b_1 b_2 \\ c = \max Z \end{cases}$ <p>If a_1, b_1, c_1 and a_2, b_2, c_2 are all positive real numbers, then $\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2)$.</p>
Division	$\tilde{A} / \tilde{B} = (a_1 / c_2, b_1 / b_2, c_1 / a_2)$

To generalize, let's consider a set of fuzzy numbers $\tilde{A}_i = (a_i, b_i, c_i)$ and $\tilde{B}_i = (d_i, e_i, f_i)$ with $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i$, all positive real numbers and $i=1, 2, \dots, n$, then:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{B}_1 \oplus \tilde{A}_2 \otimes \tilde{B}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{A}_n \otimes \tilde{B}_n = \left(\sum_{i=1}^n a_i d_i, \sum_{i=1}^n b_i e_i, \sum_{i=1}^n c_i f_i \right) \quad (4.2)$$

However, fuzzy set logic is generally used in combination with linguistic variables that serve to describe the natural human language and to transform them into logical terms. According to Zadeh (1975), a linguistic variable is a variable expressed using words or sentences based on a natural language and Likert scale. Table 4.2 is an adaptation of the table used by Ayağ et Özdemir (2007) to build criteria comparison pair-wise matrix. A graphical representation of those linguistic variables is shown in figure 4.2 (Bennis & Bahi, 2016).

Table 4.2 Example of fuzzy linguistic variables used to compare criteria and sub criteria
Adapted from (Ayağ & Özdemir, 2007)

Linguistic scales	Signification	Corresponding fuzzy number	Fuzzy notation
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	(1, 1, 2)	$\tilde{1}$
Weakly important (WI)	Judgment slightly favours one element over another	(2, 3, 4)	$\tilde{3}$
Strongly important (SI)	One element is strongly favours over another	(4, 5, 6)	$\tilde{5}$
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favours over another	(6, 7, 8)	$\tilde{7}$
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favours one element over another	(8, 9, 10)	$\tilde{9}$
Intermediate values between two adjacent judgments	The evidence favouring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.		$\tilde{2}, \tilde{4}, \tilde{6}, \tilde{8}$

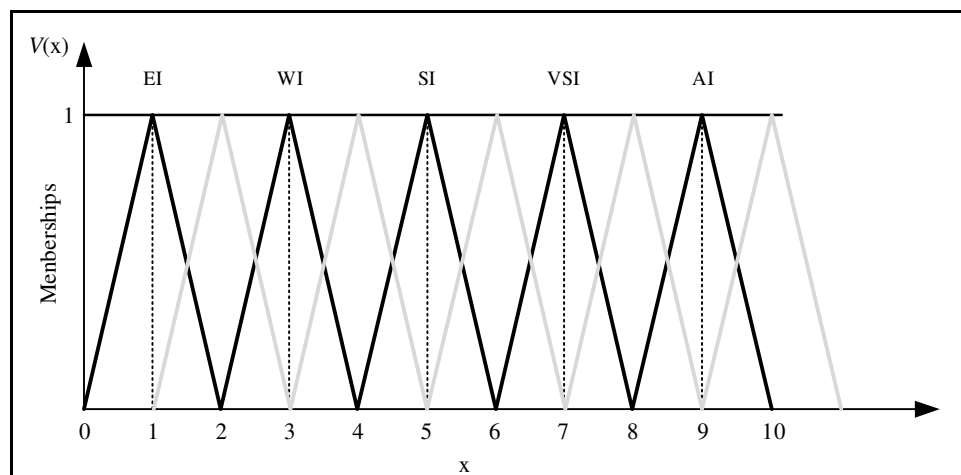


Figure 4.2 Uncertain linguistic variables graphical representation
Adapted from (Bennis & Bahi, 2016)

When using fuzzy set theories in the decision-making process, especially in selection problems, the result is always expressed as a fuzzy number. Therefore, in order to be able to compare the alternatives, the fuzzy number should be converted to its corresponding crisp number. This process is called defuzzification. Tsaur, Chang, et Yen (2002) defined the defuzzification as a technique to convert a fuzzy number into its best non-fuzzy performance (BNP) value known as its corresponding crisp real numbers. In the literature there exists several defuzzification approaches among what the most used are mean-of-maximum, Centre-of-Area, and α -cut Method (Zhao & Govind, 1991). Another approach which is used in this paper due to its simplicity and the fact that it does not require an analyst's personal judgment is the median method (Leekwijck & Kerre, 1999). It is expressed by the following equation 4.3. For TFN $\tilde{a} = (a^L, a^M, a^U)$, the corresponding crisp number would be the real number a such as

$$a = \frac{a^L + 2a^M + a^U}{4} \quad (4.3)$$

4.4.4 Fuzzy AHP

According to (Saaty, 1987), AHP is a MCDM method that decomposes a complex multi-criteria decision-making problem into a hierarchy. In selection problems, AHP generally served to assist decision-makers to calculate the weight of each criterion by using pair-wise comparison judgments (Chuang et al., 2011), (Ashtiani & Abdollahi Azgomi, 2016), (Ashu et al., 2017). However, in order to overcome ambiguities and uncertainties in the decision-making process, traditional AHP (Hanine et al., 2016) is combined with fuzzy theory to become fuzzy AHP. Fuzzy AHP has been used extensively for analyzing and structuring complex decision problems in various research fields such as selecting and evaluating suppliers, choosing the best robot, selecting the best projects and many others (Parameshwaran, Praveen Kumar, & Saravanakumar, 2015), (Bevilacqua et al., 2006), (Rao, 2008). Another point impacting traditional AHP technique is decision-making environment

where judgments on criteria come from several experts (multi-experts' environment). Two cases are then possible. In the first case all experts are considered having the same importance or background. Either fuzzy arithmetic or fuzzy geometric average can be used as an aggregation function to group all experts pair-wise comparison matrices (Otay et al., 2017), (Chuang et al., 2011). In the second case, where experts are considered having different backgrounds (Kahraman et al., 2010) proposed to allocate weight to each expert and to use them in a fuzzy weighted sum as aggregation function.

Fuzzy AHP technique in a multi experts environment of same background consists of the following steps (Kahraman et al., 2010), (Shi & Yang, 2009), (Azadeh et al., 2010).

Step 1: Develop the hierarchical decision structure.

The hierarchical decision structure helps in breaking the existing complex decision problem into manageable components of different levels (Azadeh et al., 2010). In the literature, we found in the hierarchy, the goal of the decision-making problem, the level of criteria, the level of sub criteria and the level of alternatives. However, in order to bring in the decision-making process the needs of the company, another level that can be added to the standard hierarchical decision structure is the company needs. The obtained structure results into a modified hierarchical decision structure.

Step 2: Collect fuzzy judgments from experts in which a set of criteria is compared to itself by using the fuzzy scale of pair-wise comparison shown in table 4.2 above.

Let's $e=1,2,\dots,E$ be the experts' index ($e, k, E \in \mathbb{N}$); n the number of criteria in the pair-wise comparison matrix; $i=1,2,\dots,n$ the criteria index; \tilde{a}_{ire} the TFN expressing the relative importance of criteria i compared to criteria r from the expert e judgment. The pair-wise comparison matrix from expert e , expressed by \tilde{A}^e is given by the equation 4.4 below:

$$\tilde{A}^e = (\tilde{a}_{ire}) = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12e} & \cdots & \tilde{a}_{1ne} \\ \tilde{a}_{21e} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2ne} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1e} & \tilde{a}_{n2e} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \text{ with } \begin{cases} \tilde{a}_{ire} = (a_{ire}^L, a_{ire}^M, a_{ire}^U) \\ \tilde{a}_{ire} = (\tilde{a}_{ire})^{-1} = \left(\frac{1}{a_{ire}^L}, \frac{1}{a_{ire}^M}, \frac{1}{a_{ire}^U} \right) \\ \text{if } i \neq r \\ \tilde{a}_{ire} = 1 \text{ if } i = r \end{cases} \quad (4.4)$$

Step 3: Verify the consistency of fuzzy judgments using the consistency index (CI) and the consistency ratio (CR) expressed by the equations 4.5 and 4.6. Note that the fuzzy judgments collected from experts should be firstly defuzzified in order to be able to use the equations.

$$CI_e = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \quad e=1,2,\dots,E \quad (4.5)$$

Where λ_{\max} is the largest Eigen value corresponding to the pair-wise comparison matrix from an expert e , and n is the number of elements being compared.

$$CR_e = \frac{CI_e}{RCI}; \quad e=1,2,\dots,E \quad (4.6)$$

Where the random consistency index (RCI) is defined by the table 4.3. If CR_e is less than 0.1, the pair-wise comparison matrix is acceptable; otherwise, the data of the pair-wise comparison matrix should be revised to reduce incoherence.

Table 4.3 Average RCI values
Adapted from (Saaty, 1990)

Number of criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Step 4: Aggregate all the fuzzy judgments from experts to get the final fuzzy pair-wise comparison matrix.

Each fuzzy terms \tilde{a}_{ij} of the final pair-wise comparison matrix \tilde{A} for each set of criteria and sub criteria is calculated by applying fuzzy geometric weighted average (Kahraman et al., 2010) as depicted in equations 4.7 and 4.8.

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ir}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (4.7)$$

$$\tilde{a}_{ir} = \sqrt[E]{\prod_{e=1}^E \tilde{a}_{ire}} = (\tilde{a}_{ir1} \otimes \tilde{a}_{ir2} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{irE})^{1/E} = \left(\sqrt[E]{\prod_{e=1}^E a_{ire}^L}, \sqrt[E]{\prod_{e=1}^E a_{ire}^M}, \sqrt[E]{\prod_{e=1}^E a_{ire}^U} \right) \quad (4.8)$$

Step 5: Calculate the fuzzy weight of each set of criteria and sub criteria.

Each line of the matrix \tilde{A} is aggregated to get the relative weight \tilde{u}_i of each criterion and sub criterion $i (i=1,2,\dots,n)$ with respect to each set of criteria or sub criteria group. This aggregation is done using geometric average instead of arithmetic average because of its simplicity and the fact that it helps in reducing the inconsistency in judgments (Rao, 2008).

$$\tilde{u}_i = \sqrt[n]{\prod_{r=1}^n \tilde{a}_{ir}} = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \tilde{a}_{i3} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n} = \left(\sqrt[n]{\prod_{r=1}^n (a_{ir}^L)}, \sqrt[n]{\prod_{r=1}^n (a_{ir}^M)}, \sqrt[n]{\prod_{r=1}^n (a_{ir}^U)} \right) \quad (4.9)$$

Step 6: Calculate the fuzzy weight \tilde{y}_i of sub criteria with respect to their level in the decision hierarchy.

Hierarchical decision structure being consisted of different levels of sub criteria, the final fuzzy weight of each sub criteria depend on its upper level criteria. Let considered a sub criteria i having $h (h \in \mathbb{N})$ upper levels criteria and $\tilde{u}_i^z (z = 1, 2, \dots, h)$ the weight of the z th

upper criteria. The final fuzzy weight \tilde{y}_i of the sub criteria i is calculated through the equation 4.10.

$$\tilde{y}_i = \tilde{u}_i \otimes \prod_{z=1}^h \tilde{u}_i^z \quad \text{for} \quad i=1,2,\dots,n; \quad ; \quad z = 1, 2, \dots, h \quad h(h \in \mathbb{N}) \quad (4.10)$$

For example, with 2 levels of criteria (criteria and sub criteria), the weight of each sub criteria i (level 2) having only one upper level of criteria ($h = 1$) would be expressed using the equation 4.11:

$$\tilde{y}_i = \tilde{u}_i \otimes \tilde{u}_i^1 \quad \text{for} \quad i=1,2,\dots,n' \quad (n': \text{number of sub criteria under upper criteria}) \quad (4.11)$$

4.4.5 Fuzzy QFD

One of the major concerns when conducting selection is the reduction of risk to come up with a choice that does not meet company needs. This means that considering the exact needs and the exact relevance in the selection process is very important. This is achieved in the literature using Quality Function Deployment (QFD), which is a powerful and proactive decision support method. It belongs to the huge family of quality management methods used to plan and design new or improved products or services (E. Ertugrul Karsak & Dursun, 2014). The method is applied in relationship-wise contexts (Maritan, 2015). It aims to satisfy the customer at the product design phase by determining customer needs and by translating them into product designs through a structured and well-documented framework (E. Ertugrul Karsak & Dursun, 2014). From customer demand to the production phase, four matrices are used sequentially to cover the entire process (Hauser & Clausing, 1988). Those are the product planning, part deployment, process planning, and production/operation planning matrices (E. Ertugrul Karsak & Dursun, 2014). In selection problems, only the first matrix also called house of quality (HOQ) is used. HOQ is a matrix that correlates customer requests to the technical characteristics or performance of the product (Maritan, 2015).

In its standard form, House of Quality consists of 6 main elements group in a framework (Bevilacqua et al., 2006). The first two elements positioned at the rows are the customer request also called “Demanded Qualities” (DQ) or “WHATs” or “Customer attributes” (Hauser & Clausing, 1988) and the relevance of WHATs. The third element place on the columns is the technical characteristics or performance of the product also called “Quality Characteristics” (QC) or “HOWs” or “Engineering characteristics” (Hauser & Clausing, 1988). The fourth element placed on top of the framework (roof of the matrix) contains correlations between the HOWs. The fifth element disposed at the centre of the framework contains symbols expressing correlation between the WHATs and the HOWs. The sixth element at the foundation of the framework is the result of the HOQ and is called weight of the HOWs. However, in order to be able to handle vagueness and imprecision in data and to translate verbal variables in a mathematically well-defined way, fuzzy logic can be introduced in QFD and especially in HOQ to form a new model called fuzzy QFD. For example, Ozogul et Karsak (2008) applied HOQ, fuzzy linear regression and zero-one goal programming to develop a novel decision framework for ERP software selection. E. E. Karsak et Ozogul (2009) also used a fuzzy regression-based optimization and fuzzy QFD to develop a decision model for ERP system selection. The only difference between QFD and fuzzy QFD is the usage of fuzzy numbers instead of crisp numbers.

Otherwise, it is possible to integrate the relevance of the HOWs in the HOQ framework by creating a seventh element that can be placed just below the HOWs. This relevance of the HOWs is the result of an external process that can be AHP. Doing this will help in building a HOQ framework considering both company needs (WHATs) relevance and sub criteria (HOWs) relevance from experts in the calculation of the weight of the HOWs. Figure 4.3 shows both the standard HOQ framework (Bevilacqua et al., 2006) and the modified version.

The different steps of the modified fuzzy HOQ adapted from Bevilacqua et al. (2006) for decision-making problems can be summarized as follows:

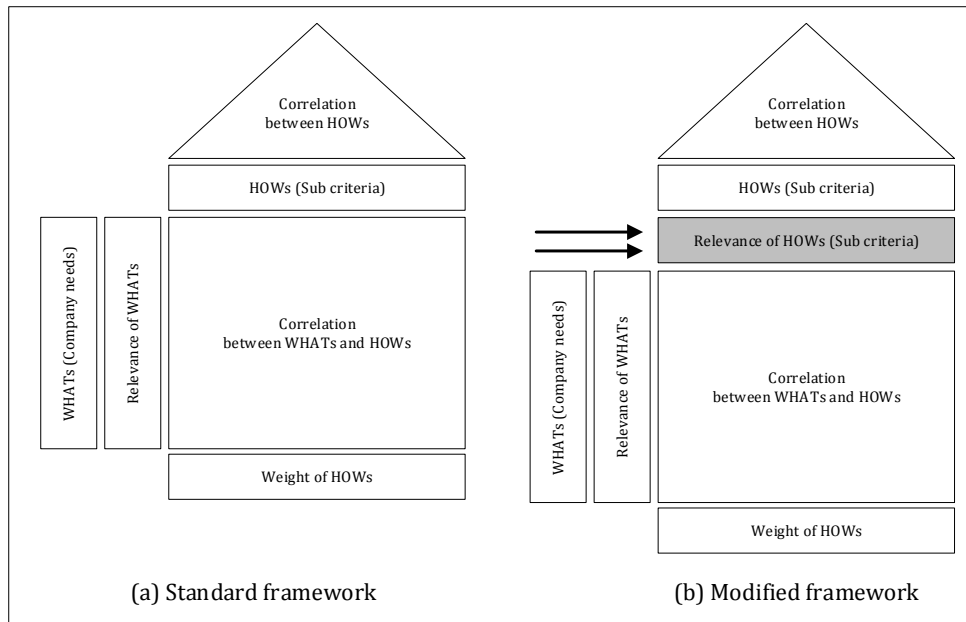


Figure 4.3 House of Quality framework (standard and modified version)
Adapted from (Bevilacqua et al., 2006)

Step 1: Identify the WHATs (Company needs).

In selection problems, the WHATs and the company needs are the same. Company needs are identified through a brainstorming session (Owen, 2008) combined to individual interviews addressed to all DMs. The DMs group is consisted of at least one member from all department involving in the decision-making process in order to have a valid sample. Empirical saturation technique (Section 4.4.1) help in determining the number of interviews needed to reach the 95% confident interval. To summarize, a first list of company needs is built. That list is then presented to DMs during individual interviews to clarify them. The interview process is repeated until the empirical saturation reaches a level of 95% (ensuring that at least 95% of company needs have been collected).

Step 2: Identify the HOWs (Sub criteria).

In the selection problem, the HOWs correspond to the selection sub criteria. The identification of the HOWs can be conducted as explained in the section 4.4.1.

Step 3: Determine the relevance of the WHATs.

A survey is addressed to DMs using linguistic variables and TFNs (Section 4.4.3) depicted in table 4.4. Each DM assigns assesses each WHAT.

Table 4.4 Linguistic variables used to capture the relevance of the “WHATs”
Adapted from Bevilacqua et al. (2006)

Linguistic scales	Corresponding fuzzy number	Fuzzy notation
Very low (VL)	(1, 1, 2)	$\tilde{1}$
Low (L)	(2, 3, 4)	$\tilde{3}$
Medium (M)	(4, 5, 6)	$\tilde{5}$
High (H)	(6, 7, 8)	$\tilde{7}$
Very high (VH)	(8, 9, 10)	$\tilde{9}$

The fuzzy matrix of relevance \tilde{B} can be expressed by the equation 4.12, with \tilde{b}_{kp} representing the fuzzy relevance assigned to WHAT k by DM p .

$$\tilde{B} = (\tilde{b}_{kp}) = \begin{matrix} & DM_1 & DM_2 & \cdots & DM_p \\ \begin{matrix} WHAT_1 \\ WHAT_2 \\ \vdots \\ WHAT_K \end{matrix} & \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11} & \tilde{b}_{12} & \cdots & \tilde{b}_{1p} \\ \tilde{b}_{21} & \tilde{b}_{22} & \cdots & \tilde{b}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{b}_{K1} & \tilde{b}_{K2} & \cdots & \tilde{b}_{Kp} \end{pmatrix} \end{matrix} \text{ with } \begin{cases} \tilde{b}_{kp} = (b_{kp}^L, b_{kp}^M, b_{kp}^U); \\ P, \text{ the number of DMs;} \\ K, \text{ the number of WHATs;} \\ k=1, 2, \dots, K; \quad p=1, 2, \dots, P; \end{cases} \quad (4.12)$$

From the fuzzy matrix \tilde{B} , the final fuzzy relevance of each WHAT k ($k=1, 2, \dots, K$) can then be expressed using fuzzy geometric average operator as depicted in equation 4.13:

$$Relevance(WHAT)_k = (\tilde{b}_{k1} \otimes \tilde{b}_{k2} \otimes \cdots \otimes \tilde{b}_{kp})^{1/P} = \left(\prod_{p=1}^P \tilde{b}_{kp} \right)^{1/P} = \left(\sqrt[P]{\prod_{p=1}^P b_{kp}^L}, \sqrt[P]{\prod_{p=1}^P b_{kp}^M}, \sqrt[P]{\prod_{p=1}^P b_{kp}^U} \right) \quad (4.13)$$

Step 4: Determine the relevance of the HOWs (sub criteria).

As mentioned above, relevance of the HOWs is a result from an external process to the QFD. It can come directly from a survey address to experts or can be the result of an AHP analysis. When coming from an AHP result, it would be assimilated to the weight of sub criteria obtain at the end of the AHP analysis.

Step 5: Correlate the HOWs and the WHATs.

In Bevilacqua et al. (2006), this step is completed by addressing a survey to DMs who provide correlation matrices that are aggregated to obtain the final fuzzy correlation matrices. In selection problems, especially in complex products environment, DMs might not be comfortable to evaluate that correlation, but they are the ones best knowing the meaning of each WHAT. Thus, experts should be associated with DMs in order to bring in their knowledge regarding sub criteria (HOWs). A work session can then be planned to capture the fuzzy correlation matrix between the HOWs and the WHATs. The same linguistic variables depicted in table 4.4 can be used to assess the correlation. The construction of the HOQ roof with the correlation between the HOWs (criteria) is also completed during the work session grouping experts and DMs. Bevilacqua et al. (2006) used a 3 level scale representation to address that correlation. Those are strong relationship, average relationship and low relationship.

Step 6: calculate the weight of the HOWs (sub criteria).

Let $[Corr]_{ki}$ ($k=1, 2, \dots, K; i=1, 2, \dots, n$) be the fuzzy correlation value between the WHAT k and the HOW i . For the standard QFD method, Bevilacqua et al. (2006) used the equation 4.14 to calculate the fuzzy weight of HOWs.

$$[Weight\ HOW]_i = \sum_{k=1}^K [Corr]_{ki} \otimes [Relevance\ WHAT]_k \quad (4.14)$$

For the modified fuzzy HOQ presented above with the relevance of HOWs included in the framework, the equation 4.14 can be adapted to integrate the relevance of HOWs as

presented in equation 4.15. Let consider here that the relevance of the HOWs is the result of AHP calculation (meaning that relevance of HOW would be same as the final weight of sub criteria in AHP).

$$\begin{aligned}
 [Weight\ HOW]_i &= \left[\sum_{k=1}^K [Corr]_{ki} \otimes [Relevance\ WHAT]_i \right] \otimes [Relevance\ HOW]_i \\
 [Weight\ HOW]_i &= \left[\sum_{k=1}^K [Corr]_{ki} \otimes [Relevance\ WHAT]_i \right] \otimes \tilde{y}_i \quad \text{for } i=1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Where \tilde{y}_i is the assessment of sub criteria coming from experts and calculate using equation 4.10. The fuzzy weight of HOWs $[Weight\ HOW]_i$ calculate using equation 4.15 is an absolute weight. For each HOW (sub criteria) $i(i=1, 2, \dots, n)$, the relative or normalized fuzzy weight can be calculated using the equation 4.16.

$$Relative\ [Weight\ HOW]_i = \frac{[Weight\ HOW]_i}{\sum_{q=1}^n [Weight\ HOW]_q} \quad \text{for } i=1, 2, \dots, n; \quad q \in \mathbb{N} \tag{4.16}$$

4.4.6 APS software alternatives in competition

As mentioned before, there is a huge amount of APS software available in the market. Web searches, contact with software developers and vendors can help to identify them. The selection process cannot involve all of those alternatives at the same time. Ayağ et Özdemir (2007) proposed to first prepare a list of alternatives regarding the company profile, politics and strategy in order to reduce the number of alternatives to three or four that would be brought in the selection process. If the number of alternatives is still high after that, a preselection process based on sequential elimination methods (Evans, 1989), (Levin & Leu, 2007) could be used to reduce this number to three or four (Ayağ & Özdemir, 2007). Once the list of alternatives is ready, the decision matrix can be built. In selection problems, the

decision matrix contains the dimension of each alternative with respect to selection sub criteria. Those dimensions are generally collected using linguistic variables presented in table 4.5 and expressed with fuzzy numbers to reduce the uncertainties.

Table 4.5 linguistic variables used to evaluate the alternatives regarding criteria
Adapted from Kahraman et al. (2010)

Linguistic scales	Corresponding fuzzy number
Very poor (VP)	(1, 1, 3)
Poor (P)	(1, 3, 5)
Fair (F)	(2, 5, 8)
Good (G)	(5, 7, 10)
Very good (VG)	(7, 10, 10)

Let's be the following parameters: $A_j = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, a set of m alternatives retained for the selection process; $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, the set of n sub criteria; \tilde{F} , the fuzzy decision matrix; \tilde{f}_{ij} , the fuzzy value of sub criteria i for the alternative j . The fuzzy decision matrix can be expressed by the equation 4.17 below.

$$\tilde{F} = (\tilde{f}_{ij}) = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_m \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} \tilde{f}_{11} & \tilde{f}_{12} & \dots & \tilde{f}_{1m} \\ \tilde{f}_{21} & \tilde{f}_{22} & \dots & \tilde{f}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{f}_{n1} & \tilde{f}_{n2} & \dots & \tilde{f}_{nm} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{where} \quad \begin{cases} \tilde{f}_{ij} = (f_{ij}^L, f_{ij}^M, f_{ij}^U) \\ \text{for } i = 1, 2, \dots, n \\ \text{for } j = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (4.17)$$

4.4.7 Fuzzy VIKOR

Developed by Serafim Opricovic, VIKOR (VIsekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje) is a Serbian MCDM method based on an aggregation function representing closeness to the ideal (Martin-Utrillas et al., 2015). It is a compromise ranking method that classifies a set of alternatives so that DMs obtains the maximum “group utility” and a minimum regret of the “opponent” (Rao, 2008). In fact, through the normalization of the decision matrix and the L_p – metric aggregation function, the VIKOR method provides three ranking with the first

based on the majority, the second on the utility, and the third one a compromise between the two previous ranking (Dammak, Baccour, & Alimi, 2015). Compromise means an agreement established by mutual concessions (Opricovic & Tzeng, 2004). Fuzzy VIKOR method uses the same principle with standard VIKOR except that fuzzy VIKOR uses fuzzy numbers instead of crisp numbers in order to enhance the potential of the method (Ayağ & Özdemir, 2007). The fuzzy L_p – metric can be expressed by the equation 4.18.

$$\tilde{L}_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\tilde{w}_i (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_{ij}) / (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_i^-) \right]^p \right\}^{1/p}, 1 \leq p \leq \infty; i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m \quad (4.18)$$

Where n is the number of sub criteria and m the number of alternatives. \tilde{f}_{ij} is the fuzzy value of sub criteria i for the alternative j (Equation 4.17) with the best and worst fuzzy values regarded as \tilde{f}_i^* and \tilde{f}_i^- . \tilde{w}_i denotes the weight of the sub criteria i . In this paper \tilde{w}_i is the result of the integration of fuzzy AHP and fuzzy QFD. \tilde{w}_i is considered to be same as the fuzzy relative weight of the HOWs calculate using equation 4.16 ($\tilde{w}_i = \text{Relative}[\text{Weight HOW}]_i$). Within VIKOR method, $\tilde{L}_{1,j}$ and $\tilde{L}_{\infty,j}$ are respectively used to formulate fuzzy ranking measure \tilde{S}_j (regarding the utility of the solution) as in equation 4.19 and \tilde{R}_j (regarding the regret of opponents) as in equation 4.20. The fuzzy VIKOR method procedure can be summarized in the following steps.

Step 1: Find out the \tilde{f}_i^* and \tilde{f}_i^- for all criteria $i=1,2,\dots,n$;

- If the criterion i denotes a benefit then
$$\begin{cases} \tilde{f}_i^* = \max_j \tilde{f}_{ij} \\ \tilde{f}_i^- = \min_j \tilde{f}_{ij} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$
- If the criterion i denotes a cost then
$$\begin{cases} \tilde{f}_i^* = \min_j \tilde{f}_{ij} \\ \tilde{f}_i^- = \max_j \tilde{f}_{ij} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Step 2: Compute the values \tilde{S}_j and \tilde{R}_j for $j=1,2,\dots,m$ using the equations 4.19 and 4.20.

$$\tilde{S}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_{ij}) / (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_i^-) \quad (4.19)$$

$$\tilde{R}_j = \max_i [\tilde{w}_i (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_{ij}) / (\tilde{f}_i^* \ominus \tilde{f}_i^-)] \quad (4.20)$$

Step 3: Compute the values \tilde{Q}_j for $j=1, 2, \dots, m$ using the equation 4.21.

$$\tilde{Q}_j = v (\tilde{S}_j \ominus \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- \ominus \tilde{S}^*) + (1-v) (\tilde{R}_j \ominus \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- \ominus \tilde{R}^*) \quad (4.21)$$

Where $\tilde{S}^* = \min_j \tilde{S}_j$; $\tilde{S}^- = \max_j \tilde{S}_j$; $\tilde{R}^* = \min_j \tilde{R}_j$ and $\tilde{R}^- = \max_j \tilde{R}_j$. The parameter v denotes the weight of the strategy of maximum group utility, while $(1-v)$ is the weight of regret. Usually, v is assumed to be 0.5 (Haiqing et al., 2014).

Step 4: Defuzzify the TFNs \tilde{S}_j , \tilde{R}_j and \tilde{Q}_j in their crisp corresponding value for $j=1, 2, \dots, m$ using the equation 4.3.

Step 5: Rank the alternatives, sorting by the values S , R and Q in decreasing order.

Let $\{A\}$ be the set of alternatives. The compromise solution is the alternative $A^{(1)}$, which is the best ranked by the measure Q (minimum), if the two following conditions are satisfied:

1- Condition 1: “Acceptable advantage”

$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ where $A^{(2)}$ is the alternative with second position in the ranking list of Q , $DQ = 1/(m-1)$ and m is the number of alternatives.

2- Condition 2: “Acceptable stability in decision-making”: The alternative $A^{(1)}$ should also be the best ranked by S and/or R . This compromise solution is stable within a decision-making process, which could be the strategy of maximum group utility (when $v > 0.5$ is needed), or “by consensus” ($v \approx 0.5$), or “with veto” ($v < 0.5$).

If one of the above conditions is not satisfied, then the following compromise solution is proposed:

- 3- Alternatives $A^{(1)}$ and $A^{(2)}$ if only the condition 2 is not satisfied;
- 4- Alternatives $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(M)}$ if the condition 1 is not satisfied; with $A^{(M)}$ determined by the formula $Q(A^{(M)}) - Q(A^{(1)}) < DQ$ for maximum M (the position of these alternatives are “in closeness”).

4.5 The Proposed Methodology

In this paper a novel methodology for selection of APS software based on QFD and on MCDM approaches namely AHP and VIKOR is proposed. Fuzzy set theory is also used to enhance the potential of the methodology by dealing with uncertainties. In the literature, there do not exist studies about the use of scientific approaches and techniques for APS software selection. The proposed novel methodology fulfills the need for a structured and scientific methodology for APS software selection. It is inspired by (1) Azadeh et al. (2010) who used fuzzy AHP for software simulation package selection, (2) Haiqing et al. (2014) who integrated fuzzy AHP with fuzzy VIKOR for lifecycle system selection and (3) Bevilacqua et al. (2006) who applied fuzzy QFD for supplier selection. The novel methodology is composed of three phases (Figure 4.4).

The first phase is a preparation phase aiming to determine all elements and factors involved in the decision-making process. Those are DMs, experts, criteria, sub criteria (the HOWs), alternatives and company needs (the WHATs). DMs team is consisted of at least one person from each department of the company involved in planning and scheduling operations. Experts consisted of people from different fields with different backgrounds (Section 4.4.2).

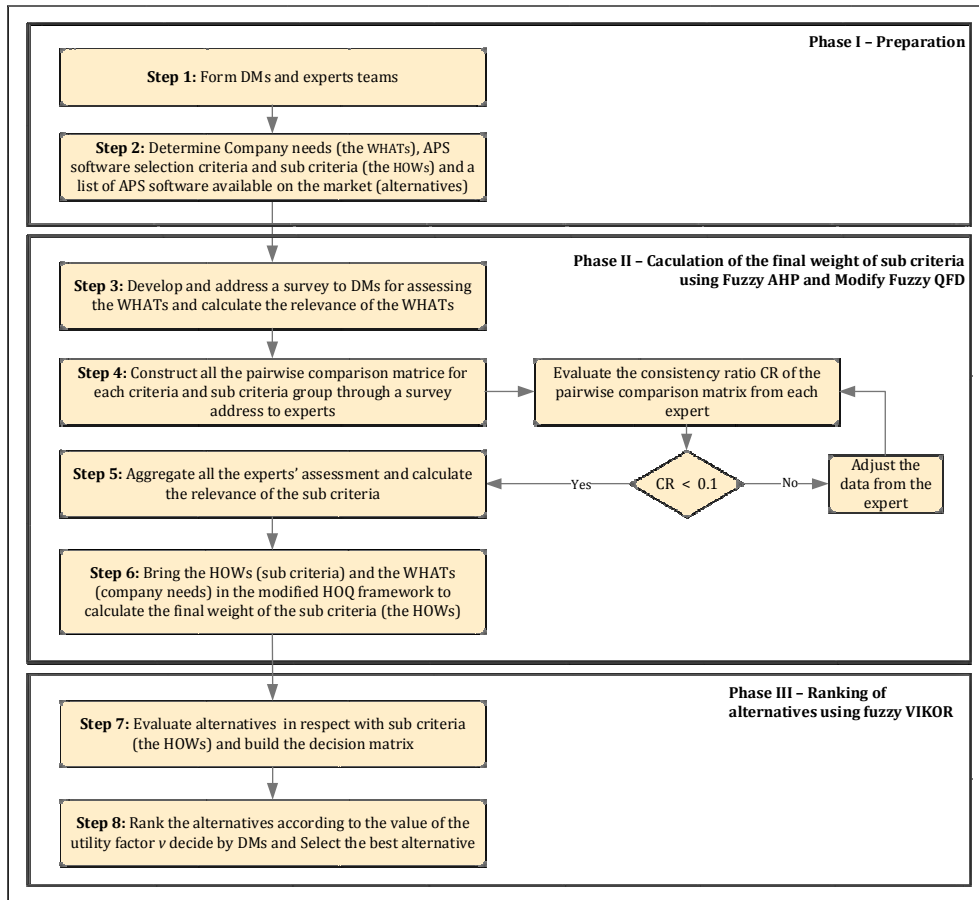


Figure 4.4 The novel proposed methodology for APS software selection

Criteria and sub criteria are determined from the literature and from expert opinion (Section 4.4.1). This first phase is completed by the identification of a set of alternatives and the construction of the modified hierarchical decision structure.

The second phase aims to determine the final weight of sub criteria (the HOWs) that would be used to rank alternatives. The phase begins with the determination of the relevance of the WHATs (Company needs) through a detailed questionnaire (*Voir* ANNEXE VI, p 155) addressed to DMs (Section 4.4.5). This is followed by the assessment of criteria and sub criteria by experts that lead to the construction of the comparison pair-wise matrix and to the calculation of the relative weight of the criteria using the modified fuzzy AHP method (Section 4.4.4). The sub criteria (the HOWs) and the company needs (the WHATs) and their

relevance are then brought in the modified HOQ framework to calculate the final weight of sub criteria (Section 4.4.5) that would be considered to rank the alternatives.

The last phase begins with the evaluation of alternatives in respect with sub criteria through an analysis sheet (*Voir ANNEXE X*, p 174) as presented above (Section 4.4.6). The decision matrix is then built and the alternatives ranked using the MCDM method VIKOR (Section 4.4.7). We should note that the utility factor ν should be first defined by DMs before the VIKOR method is deployed. At this point, the best APS software can be selected and this mark the end of the process.

4.6 Case study

In this section, the proposed integrated and novel methodology is applied step-by-step to a real company case in order to demonstrate its robustness, its applicability and its effectiveness in selecting the best APS software alternatives. The company is a world leader in manufacturing of aero-derivative gas turbines that plan to select and implement an APS software in order to improve the planning and scheduling of its operations. The steps to select the APS software that best meet the company needs are presented in the following section.

Step 1: Form a DMs and experts teams.

Decisions makers' team is composed of 12 employees from the company (DM₁, DM₂... DM₁₂) recruited from all services involved in the planning and scheduling operations in the company (Table 4.6).

Table 4.6 Composition of the DMs team

Service involved	Number of DMs chosen
Continuous improvement	2
Planning	3
Supply chain	2
Repair and overhaul (RO)	3
Sales and operations management	1
Shop management	2

About expert's team, a total of 6 experts have been involved in the study. They all have at least 10 years of experience in operations management and are from 4 different fields: (i) 2 experts from operations and logistics engineering; (ii) 1 expert from industrial engineering; (iii) 2 experts from mechanical engineering; and (iv) 1 expert from operations planning professionals.

Step 2: Determine Company needs (the WHATs), selection criteria and sub criteria (the HOWs) and a list of APS software available on the market (alternatives).

About company needs, a questionnaire (*Voir* ANNEXE IV, p 145) has been addressed to the 12 DMs. Due to unavailability of all of them, only 8 people, including 3 from the repair Service, 3 from the planning service and 2 from continuous improvement service responded to the survey (*Voir* ANNEXE V, p 146) and an initial list of company needs have been built. This initial list has then been brought to the same DMs for reviewing through several groups interviews cycles. During each group interview cycle the list of company needs obtained at the end of the previous interview group cycle was reviewed. New data were collected and processed to refine the list of company needs by adding new identified needs. A definitive list of 31 company needs has been established (Table 4.7) with empirical saturation above 95% (Figure 4.5).

As alternatives, after preliminary screening, 4 APS software have been retained for the selection process. Those are Preactor, SAP–APO, Oracle–ASCP and Infor. These alternatives are developed and hosted by world-renowned companies and listed among the 10 software having the biggest market share.

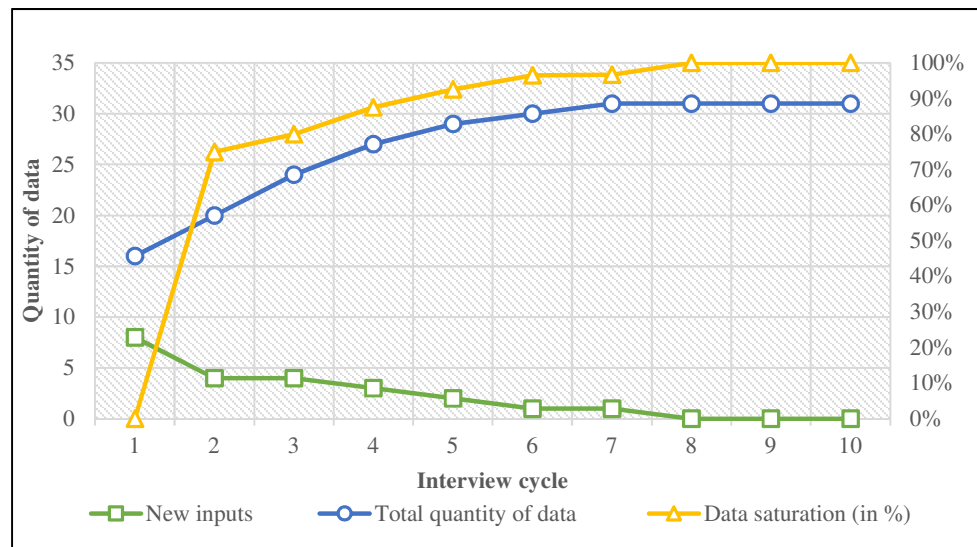


Figure 4.5 Empirical saturation curve - capture of company needs

Concerning criteria and sub criteria, from the list of 7 criteria (features, integration, technology, platform, price, vendor specifications, and ease of use) and 4 sub criteria (interactive Gantt chart, resource calendar editor, advanced planning algorithms and report generator) identified in the literature, individual interviews cycles have been organized with experts (section 4.4.1). During each interview, expert has the mission of reviewing the list, proposing new criteria and sub criteria or remove non-relevant criteria from the list resulting from the previous interview. After 9 interviews, a definitive list of 6 criteria and 28 sub criteria has been established (Table 4.8) with an empirical saturation above 95% (Figure 4.6).

Company needs, selection criteria and sub criteria, and alternatives being identified, the modified hierarchical decision structure can be built (Figure 4.7).

Step 3: Develop and address a survey to DMs for determined the relevance of the WHATs. The survey (*Voir* ANNEXE VI, p 154) has been addressed to DMs and the relevance of the WHATs has been obtained (*Voir* ANNEXE VII, p 155). Table 4.9 summarized the result obtained from the survey.

Table 4.7 List of company needs (the WHATs)

Items	Company needs
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time
WHAT ₆	Control the level of WIP
WHAT ₇	Levels capacity and workload
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose correction options
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress
WHAT ₂₈	Track shortages
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance to enable quick decisions

Step 4: Construct all the pairwise comparison matrices for each criterion and sub criteria group through a survey address to experts. The survey (*Voir ANNEXE VIII*, p 167) has been addressed to the 6 experts identified above and the results (*Voir ANNEXE IX*, p 168) summarize in the table 4.10 for the six pair-wise comparison matrices related to criteria and table 4.11 for sub criteria under the criteria "Usability" (C21, C22, C23, C24 and C25). The

consistency ratios (CR) are also indicated for all the matrices and we can see that there are less than 0.1 (all the matrices are consistent).

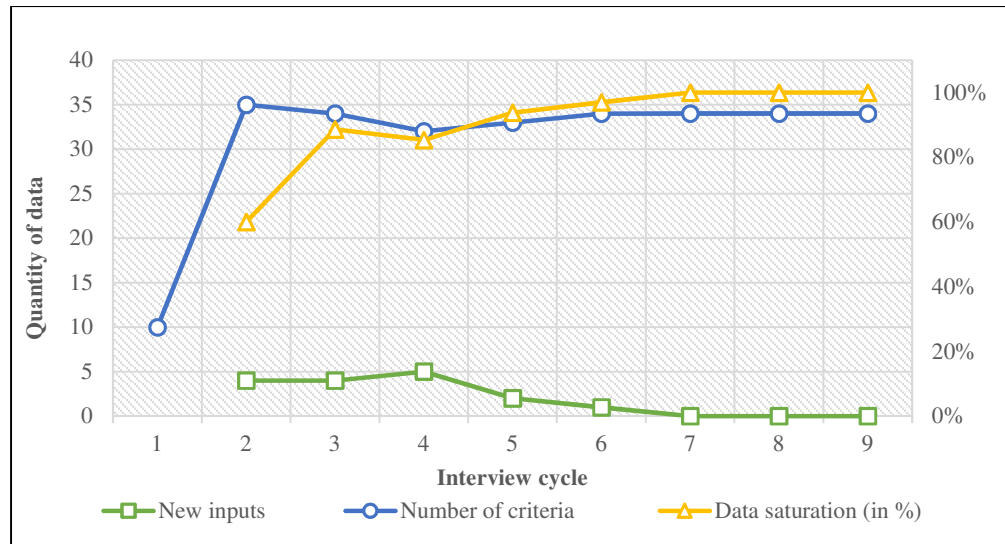


Figure 4.6 Empirical saturation curve–determination of criteria and sub criteria

Step 5: Aggregate all the experts' assessment and calculate the relevance of sub criteria.

The aggregation of the 6 experts' assessment is done using geometric mean. The results are shown in table 4.12. The relevance of sub criteria (the HOWs) can then be calculated with respect to their level in the modified hierarchical decision structure (Section 4.4.4).

Step 6: Bring the relevance of HOWs and WHATs in the modified HOQ framework.

In the modified HOQ, the correlation factor between the HOWs and the WHATs have been evaluated during a working session with experts and decision makers. We can note in the correlation between the WHATs and the HOWs that, no correlation exist regarding the criteria "cost". In fact, company didn't express any needs related to cost. Company wants the best software independently of the cost to pay. The relevance of WHATs computed at step 3 and the relevance of HOWs computed at step 5 have been brought in the modified HOQ framework (Figure 4.8). The relative or normalized weight of HOWs (sub criteria) that would be used in the ranking phase are also got form the framework (Table 4.13).

Table 4.8 Final list of APS software criteria and sub criteria (* indicated the 3 criteria and 6 sub criteria found from the literature)

Criteria	Sub criteria	Description
Personaliz - ability (C1)	Customizable fields (C11)	Ability to personalize the layout of package interface
	Customizable reports (C12)	Ability to personalize the layout of reports produced by package
Usability (C2)	User interface (C21)	Ease with which user can use interface of the software package
	User types (C22)	Ability of the APS software to support beginners, intermediate, and advanced users
	Data visualization (C23)	Capability of the APS software package to present data effectively
	Error reporting (C24)	Error reporting and messaging ability of the APS software package
	Ease of use (C25)*	Ease with which user can learn and operate the APS software package
Reliability (C3)	Robustness (C31)	Capability of the APS software package to run consistently without crashing
	Backup and recovery (C32)	Capability of the APS software package to support backup and recovery feature
Vendor (C4)*	Training (C41)	Availability of training courses to learn the package
	Maintenance and upgrading (C42)	Vendor support for upgrading and maintenance of the APS software
	Consultancy (C43)	Availability of technical support and consultancy by the vendor
	Vendor popularity (C44)	Popularity of vendor in the market
	Past business experience (C45)	Past business experience with the vendor, if any
	References (C46)	Number of references of the existing customers using the product
	Length of experience (C47)	Experience of vendor about development of the software product
Cost (C5)*	Licence cost (C51)	Licence cost of the product in terms of number of users
	Training cost (C52)	Cost of training to the users of the system
	Installation and implementation cost (C53)	Cost of installation and implementation of the product
	Maintenance and updating cost (C54)	Maintenance cost of the product when and when a new version will be launched
Technology (C6)*	Interactive Gantt chart (C61)*	Possibility to play directly on the Gantt chart to edit data and move elements
	Resource calendar editor (C62)*	Ability to build and manage calendar for each resources according to company context and plan.
	Report generator (C63)*	Possibility to build report and personalize them to company needs
	Advanced planning algorithms (C64)*	Powerful algorithm with a running time acceptable and advanced rules
	Multi-constraint consideration (C65)	Ability to consider several constraints on operator competency, machine and tooling constraints, etc.
	Multiple/customized schedule objectives (C66)	Possibility for scheduling operation under a set of different objectives
	What if scenario module (C67)	Possibility to perform efficient and robust scenario analyze without impacting official plan
	Integration (C68)*	Ability to connect to systems as ERP, MRP, MES, etc., for the data flow for data management

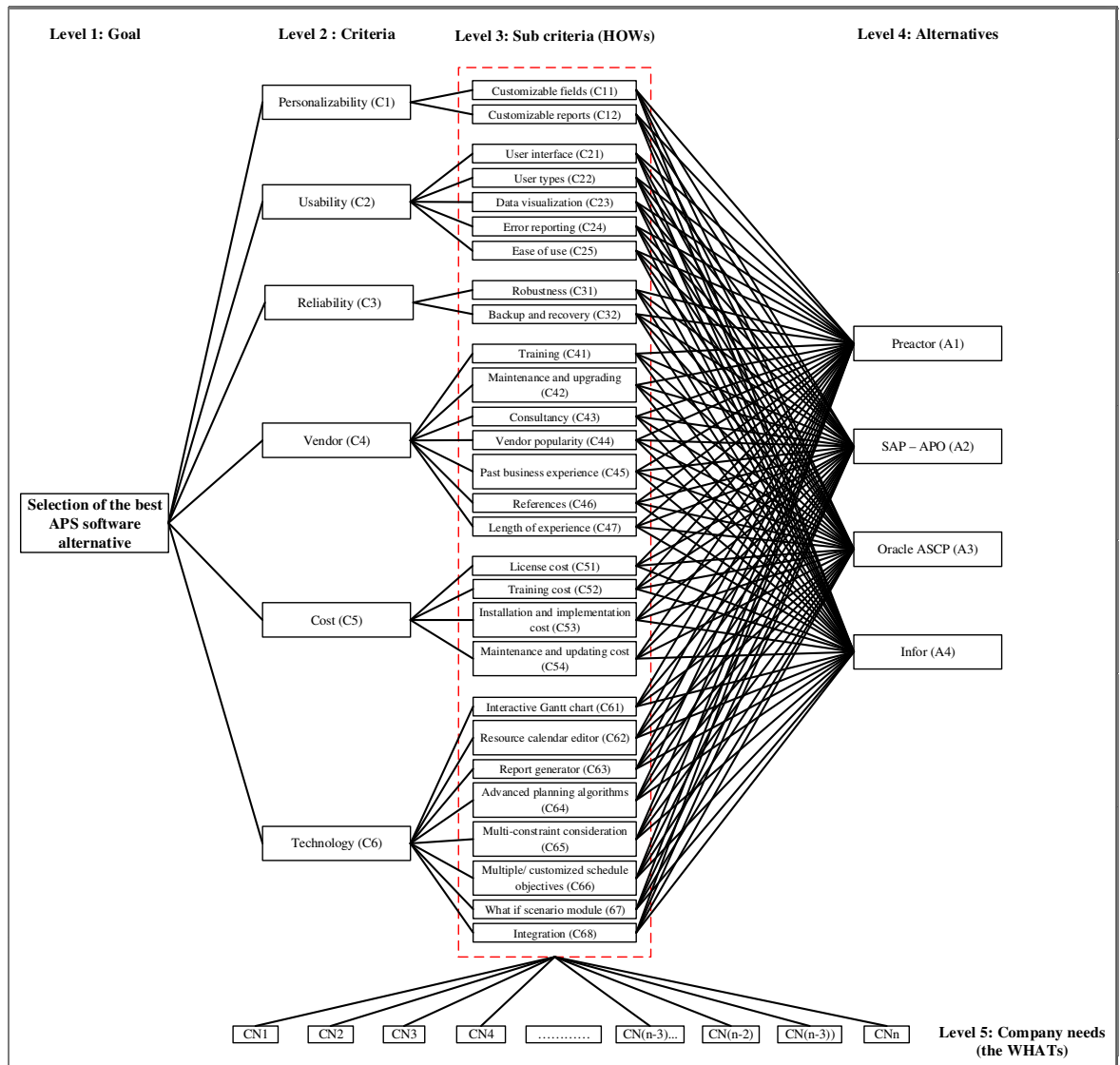


Figure 4.7 Modified hierarchical decision structure of the APS software selection problem

Table 4.9 Results of the survey addressed to DMs and relevance of company needs

		Decision Makers												Weight of WHATs
		DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄	DM ₅	DM ₆	DM ₇	DM ₈	DM ₉	DM ₁₀	DM ₁₁	DM ₁₂	
Company Needs (the WHATs)	WHAT ₁	VL	M	VL	M	VH	VH	M	VL	VH	VH	VH	M	(3.78, 4.27, 5.64)
	WHAT ₂	M	M	M	M	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	(5.99, 7.04, 8.08)
	WHAT ₃	VH	M	VH	M	VH	VH	VH	VH	VH	VL	VH	VH	(5.99, 6.79, 8.03)
	WHAT ₄	VH	M	M	M	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	(6.73, 7.77, 8.80)
	WHAT ₅	M	M	M	M	VH	VH	VH	VL	VH	VH	VH	VL	(4.49, 5.13, 6.45)
	WHAT ₆	M	VL	M	VH	VH	VH	VL	M	M	VH	VH	VH	(4.49, 5.13, 6.45)
	WHAT ₇	VH	M	VH	VH	VH	VH	M	M	VH	VH	VH	M	(6.35, 7.40, 8.43)
	WHAT ₈	VH	VH	VH	M	VH	VH	VH	VH	VH	M	VH	M	(6.73, 7.77, 8.80)
	WHAT ₉	M	VH	VH	M	VH	VH	VH	VH	M	M	VH	VH	(6.35, 7.40, 8.43)
	WHAT ₁₀	M	VH	M	VH	VH	VH	VH	VH	M	VH	VH	VH	(6.73, 7.77, 8.80)
	WHAT ₁₁	VH	VH	VH	VL	VH	VH	VH	VH	M	M	VH	M	(5.66, 6.47, 7.70)
	WHAT ₁₂	M	M	M	VL	M	M	VH	VH	VH	VL	VH	VH	(4.24, 4.88, 6.18)
	WHAT ₁₃	VL	VL	VL	VL	VH	VH	M	M	M	M	VL	M	(2.52, 2.82, 4.13)
	WHAT ₁₄	M	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	VH	VL	(5.99, 6.79, 8.03)
	WHAT ₁₅	M	M	M	VH	VH	VH	M	VH	VH	M	VH	M	(5.66, 6.71, 7.75)
	WHAT ₁₆	VL	VL	M	M	M	M	M	M	M	VH	VH	VL	(3.17, 3.69, 4.96)
	WHAT ₁₇	M	VH	M	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	(7.13, 8.16, 9.18)
	WHAT ₁₈	M	VH	M	M	VH	VH	M	M	M	VL	M	M	(4.24, 5.06, 6.22)
	WHAT ₁₉	M	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VL	M	M	(5.66, 6.47, 7.70)
	WHAT ₂₀	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	VH	VH	M	M	VH	(6.73, 7.77, 8.80)
	WHAT ₂₁	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	M	(7.13, 8.16, 9.18)
	WHAT ₂₂	M	M	M	M	M	M	VL	VL	VL	VL	VL	M	(2.24, 2.56, 3.80)
	WHAT ₂₃	M	VH	VH	M	M	M	VL	M	M	VH	VL	M	(3.78, 4.43, 5.68)
	WHAT ₂₄	M	M	VH	VH	VH	VH	M	VH	M	VH	VH	VL	(5.34, 6.16, 7.38)
	WHAT ₂₅	M	VH	M	M	VH	VH	M	VH	M	VH	VL	M	(4.76, 5.59, 6.77)
	WHAT ₂₆	M	M	M	VH	VH	VH	M	VH	M	VL	M	M	(4.49, 5.32, 6.49)
	WHAT ₂₇	M	M	M	VH	VH	VH	M	VH	M	VL	VH	M	(4.76, 5.59, 6.77)
	WHAT ₂₈	M	VH	VH	M	VH	VH	VH	VH	VH	VL	M	VL	(4.76, 5.39, 6.73)
	WHAT ₂₉	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	M	VH	M	(6.73, 7.77, 8.80)
	WHAT ₃₀	VH	VH	VH	VH	VH	VH	M	VH	VH	VH	VH	M	(7.13, 8.16, 9.18)
	WHAT ₃₁	M	M	M	VH	VH	VH	M	M	VH	VH	VH	M	(5.66, 6.71, 7.75)

Table 4.10 The pair-wise comparison matrices of main criteria

	Expert 1						Expert 2						Expert 3					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	3	3	3	2	3 ⁻¹	1	5 ⁻¹	7 ⁻¹	2 ⁻¹	4 ⁻¹	6 ⁻¹	1	1	3 ⁻¹	3	4	3 ⁻¹
C2	3 ⁻¹	1	3 ⁻¹	5	3 ⁻¹	5 ⁻¹	5	1	1	5	2	7 ⁻¹	1	1	1	4	4	5 ⁻¹
C3	3 ⁻¹	3	1	3	3 ⁻¹	5 ⁻¹	7	1	1	9	3	1	3	1	1	3	3	2 ⁻¹
C4	3 ⁻¹	5 ⁻¹	3 ⁻¹	1	3 ⁻¹	9 ⁻¹	2	5 ⁻¹	9 ⁻¹	1	5 ⁻¹	5 ⁻¹	3 ⁻¹	4 ⁻¹	3 ⁻¹	1	3 ⁻¹	4 ⁻¹
C5	2 ⁻¹	3	3	3	1	5 ⁻¹	4	2 ⁻¹	3 ⁻¹	5	1	5 ⁻¹	4 ⁻¹	4 ⁻¹	3 ⁻¹	3	1	3 ⁻¹
C6	3	5	5	9	5 ⁻¹	1	6	7	1	5	5	1	3	5	2	4	3	1
	CR					0,09	CR					0,1	CR					0,1

	Expert 4						Expert 5						Expert 6						Weights of criteria
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
C1	1	2 ⁻¹	2	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	1	1	5 ⁻¹	2	7 ⁻¹	5 ⁻¹	1	4 ⁻¹	5 ⁻¹	5 ⁻¹	7 ⁻¹	9 ⁻¹	(0.62, 0.60, 0.57)
C2	2	1	2 ⁻¹	3	1	3 ⁻¹	1	1	3 ⁻¹	3	5 ⁻¹	5 ⁻¹	4	1	3	5	2	5 ⁻¹	(0.97, 0.99, 1.01)
C3	2 ⁻¹	2	1	1	1	7 ⁻¹	5	3	1	5	6 ⁻¹	4 ⁻¹	5	3 ⁻¹	1	3	3 ⁻¹	6 ⁻¹	(1.10, 1.12, 1.14)
C4	3 ⁻¹	3 ⁻¹	1	1	3 ⁻¹	3 ⁻¹	2 ⁻¹	3 ⁻¹	5 ⁻¹	1	6 ⁻¹	4 ⁻¹	5	5 ⁻¹	3 ⁻¹	1	4 ⁻¹	7 ⁻¹	(0.47, 0.38, 0.32)
C5	3	1	1	3	1	1	7	5	6	6	1	3	7	2 ⁻¹	3	4	1	3 ⁻¹	(1.30, 1.31, 1.33)
C6	3	3	7	3	1	1	5	5	4	4	3 ⁻¹	1	9	5	6	7	3	1	(2.48, 2.02, 3.50)
	CR					0,09	CR					0,09	CR					0,1	

Table 4.11 Pair-wise comparison matrices of sub-criteria under main criteria “Usability”

	Expert 1					Expert 2					Expert 3				
	C21	C22	C23	C24	C25	C21	C22	C23	C24	C25	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	3	3	2	3	1	1	3 ⁻¹	7 ⁻¹	7 ⁻¹	1	3	1	3 ⁻¹	1
C22	3 ⁻¹	1	4	2 ⁻¹	3	1	1	3 ⁻¹	7 ⁻¹	7 ⁻¹	3 ⁻¹	1	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
C23	3 ⁻¹	4 ⁻¹	1	7 ⁻¹	2 ⁻¹	3	3 ⁻¹	1	7 ⁻¹	7 ⁻¹	1	3	1	1	1
C24	2 ⁻¹	2	7	1	5	7	7	7	1	3 ⁻¹	3	3	1	1	3
C25	3 ⁻¹	3 ⁻¹	2	5 ⁻¹	1	7	7	7	3	1	1	3	1	3 ⁻¹	1
	CR				0,07	CR				0,08	CR				0,04

	Expert 4					Expert 5					Expert 6					Weights of sub criteria
	C21	C22	C23	C24	C25	C21	C22	C23	C24	C25	C21	C22	C23	C24	C25	
C21	1	1	1	1	4	1	5	4	3	6	1	9	1	4	7	(1.29, 1.47, 1.61)
C22	1	1	3 ⁻¹	3	5	5 ⁻¹	1	3 ⁻¹	3 ⁻¹	4	9 ⁻¹	1	9 ⁻¹	9 ⁻¹	2 ⁻¹	(0.64, 0.57, 0.52)
C23	1	3	1	2	3	4 ⁻¹	3	1	3	4	1	9	1	6	9	(1.08, 1.20, 1.28)
C24	1	3 ⁻¹	2 ⁻¹	1	1	3 ⁻¹	3	3 ⁻¹	1	3	4 ⁻¹	9	6 ⁻¹	1	6	(1.36, 1.42, 1.46)
C25	4 ⁻¹	5 ⁻¹	3 ⁻¹	1	1	6 ⁻¹	4 ⁻¹	4 ⁻¹	3 ⁻¹	1	7 ⁻¹	2	9 ⁻¹	6 ⁻¹	1	(0.69, 0.69, 0.67)
	CR				0,06	CR				0,1	CR				0,09	

Table 4.12 The relevance of sub-criteria (the HOWs) to be used as input for HOQ

Criteria	Level 2	Sub criteria	Level 3	Relevance of the HOWs
Personalizability (C1)	(0.62, 0.60, 0.57)	Customizable fields (C11)	(1.19, 1.19, 1.20)	(0.74, 0.71, 0.69)
		Customizable reports (C12)	(0.84, 0.84, 0.83)	(0.52, 0.50, 0.48)
Usability (C2)	(0.97, 0.99, 1.01)	User interface (C21)	(1.33, 1.48, 1.60)	(1.29, 1.47, 1.61)
		User types (C22)	(0.66, 0.57, 0.52)	(0.64, 0.57, 0.52)
		Data visualization (C23)	(1.12, 1.20, 1.26)	(1.08, 1.20, 1.28)
		Error reporting (C24)	(1.41, 1.42, 1.45)	(1.36, 1.42, 1.46)
		Ease of use (C25)	(0.72, 0.69, 0.66)	(0.69, 0.69, 0.67)
Reliability (C3)	(1.10, 1.12, 1.14)	Robustness (C31)	(1.26, 1.31, 1.35)	(1.38, 1.47, 1.54)
		Backup and recovery (C32)	(0.79, 0.76, 0.74)	(0.87, 0.86, 0.85)
Vendor (C4)	(0.47, 0.38, 0.32)	Training (C41)	(2.00, 2.48, 2.91)	(0.94, 0.94, 0.94)
		Maintenance and upgrading (C42)	(1.32, 1.39, 1.45)	(0.62, 0.53, 0.47)
		Consultancy (C43)	(1.11, 1.21, 1.29)	(0.52, 0.46, 0.42)
		Vendor popularity (C44)	(0.60, 0.52, 0.46)	(0.28, 0.20, 0.15)
		Past business experience (C45)	(0.81, 0.77, 0.74)	(0.38, 0.29, 0.24)
		References (C46)	(0.74, 0.66, 0.60)	(0.35, 0.25, 0.19)
		Length of experience (C47)	(0.94, 0.91, 0.89)	(0.44, 0.34, 0.29)
Cost (C5)	(1.30, 1.31, 1.33)	Licence cost (C51)	(0.96, 1.00, 1.02)	(1.25, 1.31, 1.36)
		Training cost (C52)	(0.94, 0.96, 0.97)	(1.23, 1.26, 1.29)
		Installation and implementation cost (C53)	(1.20, 1.20, 1.20)	(1.57, 1.57, 1.60)
		Maintenance and updating cost (C54)	(0.92, 0.87, 0.84)	(1.20, 1.14, 1.11)
Technology (C6)	(2.48, 3.02, 3.50)	Interactive Gantt chart (C61)	(0.67, 0.60, 0.55)	(1.65, 1.80, 1.92)
		Resource calendar editor (C62)	(0.75, 0.70, 0.67)	(1.85, 2.12, 2.35)
		Report generator (C63)	(0.83, 0.79, 0.76)	(2.07, 2.38, 2.66)
		Advanced planning algorithms (C64)	(1.29, 1.49, 1.65)	(3.20, 4.51, 5.79)
		Multi-constraint consideration (C65)	(1.33, 1.40, 1.46)	(3.30, 4.23, 5.11)
		Multiple/customized schedule objectives (C66)	(1.10, 1.16, 1.20)	(2.72, 3.49, 4.20)
		What if scenario module (C67)	(1.15, 1.15, 1.16)	(2.85, 3.48, 4.06)
		Integration (C68)	(1.12, 1.08, 1.06)	(2.77, 3.26, 3.72)

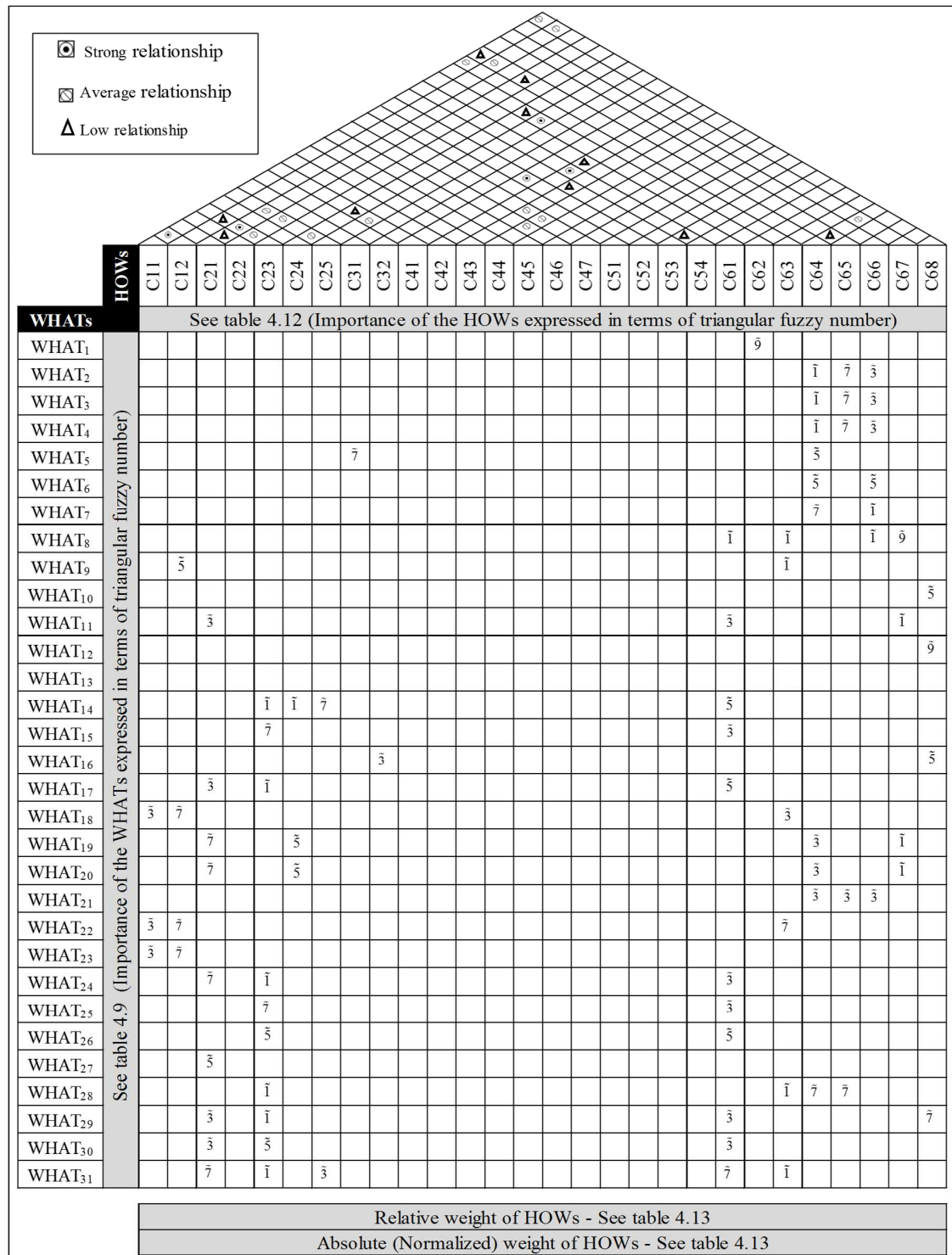


Figure 4.8 modified HOQ framework bringing together Company needs (the WHATs) and the selection criteria (the HOWs)

Table 4.13 Relative and absolute (Normalized) weight of the HOWs from HOQ

HOWs (Sub criteria)	Absolute weight of HOWs	Relative (Normalized) weight of HOWs
Customizable fields (C11)	(15.18, 25.76, 43.31)	(0.0053, 0.0052, 0.0054)
Customizable reports (C12)	(45.48, 60.72, 84.26)	(0.0159, 0.0123, 0.0105)
User interface (C21)	(273.89, 455.84, 699.03)	(0.0957, 0.0924, 0.0869)
User types (C22)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Data visualization (C23)	(156.57, 232.63, 329.61)	(0.0547, 0.0410, 0.0224)
Error reporting (C24)	(75.38, 110.45, 156.53)	(0.0264, 0.0224, 0.0195)
Ease of use (C25)	(32.85, 46.37, 63.64)	(0.0115, 0.0094, 0.0079)
Robustness (C31)	(37.21, 52.69, 79.55)	(0.0130, 0.0107, 0.0099)
Backup and recovery (C32)	(5.52, 9.49, 16.85)	(0.0019, 0.0019, 0.0021)
Training (C41)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Maintenance and upgrading (C42)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Consultancy (C43)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Vendor popularity (C44)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Past business experience (C45)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
References (C46)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Length of experience (C47)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Licence cost (C51)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Training cost (C52)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Installation and implementation cost (C53)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Maintenance and updating cost (C54)	(0.00, 0.00, 0.00)	(0.000, 0.000, 0.000)
Interactive Gantt chart (C61)	(299.47, 500.38, 776.13)	(0.1047, 0.1014, 0.0965)
Resource calendar editor (C62)	(55.96, 81.65, 132.69)	(0.0196, 0.0165, 0.0165)
Report generator (C63)	(93.85, 143.90, 231.52)	(0.0328, 0.0292, 0.0288)
Advanced planning algorithms (C64)	(512.27, 1034.91, 1889.23)	(0.1791, 0.2098, 0.2349)
Multi-constraint consideration (C65)	(512.23, 902.76, 1480.38)	(0.1791, 0.1830, 0.1840)
Multiple/customized schedule objectives (C66)	(224.97, 454.36, 807.67)	(0.0786, 0.0921, 0.1004)
What if scenario module (67)	(204.59, 315.10, 455.03)	(0.0715, 0.0639, 0.0566)
Integration (C68)	(314.98, 506.79, 798.44)	(0.1101, 0.1027, 0.0993)

Step 7: Evaluate alternatives in respect with sub criteria (the HOWs) and build the decision matrix. The table 4.14 below presents the assessment of each alternative and the decision matrix built from alternatives analysis sheets (*Voir ANNEXE XI, p 176*).

Table 4.14 Fuzzy evaluation matrix for the alternatives

	Sub criteria (HOWs)																											
	C11	C12	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C51	C52	C53	C54	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
Preactor	VG	VG	VG	VG	VG	F	VG	G	F	VG	VG	P	G	VG	VG	VG	G	G	G	P	VG	VG	G	VG	VG	VG	G	G
SPA-APO	P	F	G	F	F	F	F	F	G	F	VG	P	VG	G	F	G	VP	F	G	G	P	F	G	G	G	F	G	P
Oracle ASCP	VG	G	VG	P	G	G	G	G	G	G	F	G	G	G	VG	P	P	G	VG	G	P	G	G	VG	G	G	G	F
Infor	VP	VG	G	VG	VG	F	G	VG	VG	VG	F	P	P	P	VG	G	VP	G	VP	VP	VG	VG	F	F	F	VG	F	F

Step 8: Rank the alternatives using VIKOR method and select the best alternative.

In table 4.15, Preactor software appear as the alternative that has the minimum value of Q and then is the one that is the best ranked alternative. SAP–APO in contrary is the worst ranked alternatives with the maximum Q value.

Table 4.15 Fuzzy and crisp values of S , R , and Q and rank of alternatives

	S		R		Q		Rank
	Fuzzy value	Crisp value	Fuzzy value	Crisp value	Fuzzy value	Crisp value	
Preactor	(0.08, 0.09, 0.02)	0.07	(0.04, 0.06, 0.02)	0.05	(0.00, 0.00, 0.00)	0.00	1
SPA-APO	(0.57, 0.65, 0.39)	0.56	(0.10, 0.13, 0.10)	0.11	(0.66, 0.69, 0.49)	0.63	3
Oracle ASCP	(0.36, 0.43, 0.20)	0.35	(0.11, 0.11, 0.10)	0.11	(0.50, 0.45, 0.33)	0.43	2
Infor	(0.65, 0.68, 0.63)	0.66	(0.18, 0.21, 0.23)	0.21	(1.00, 1.00, 1.00)	1.00	4

4.7 Discussion, Validation and Sensitivity Analysis

In the present research, fuzzy QFD integrated with fuzzy AHP and fuzzy VIKOR is applied to solve the APS software selection problem. From the proposed methodology, the APS software that has the smallest value of Q as instructed in VIKOR method is ranked at top position while the one with the higher value of Q is ranked at the least position. In the study case, it is found in table 4.15 that the software Preactor is ranked at the top position with the smallest Q value of 0 while at the second position we have the software Oracle ASCP with a Q value of 0.43. At least position we have Infor software with the higher Q value of 1. Regarding the first condition of VIKOR method ($Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$), we found that

$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) = 0.43$ and $DQ = 0.33$. The first condition is then satisfied. Furthermore, Preactor software also has the smallest R and S values, meaning that it is also the best ranked alternative regarding S and R ranking. The second condition is then satisfied. The two conditions being satisfied, we can conclude that the solution obtained is a stable and compromise solution (Dammak et al., 2015).

To validate the proposed methodology, the APS software selection problem is also solved using three other approaches developed in the literature as well as the same dataset presented in the above case study. The three approaches are fuzzy AHP technique (Azadeh et al., 2010), integration of fuzzy AHP with fuzzy VIKOR (Haiqing et al., 2014) and integration of fuzzy QFD with fuzzy VIKOR (Z. Wu, Ahmad, & Xu, 2016). The particularity in fuzzy AHP is that, there is no consideration on company needs and sub criteria are weighted directly from experts' assessment. Fuzzy QFD brings company needs relevance in the weighting of sub criteria. Table 4.16 shows the results obtained and figure 4.9 presents a comparison of alternatives ranking from the different approaches.

Table 4.16 Comparative ranking obtained from different approaches

		Approach (A)	Approach (B)	Approach (C)	Approach (D)	Ranking differences		
		Fuzzy AHP	Fuzzy AHP + Fuzzy VIKOR	Fuzzy QFD + Fuzzy VIKOR	Fuzzy QFD + Fuzzy AHP + Fuzzy VIKOR	d = A-D	d = B-D	d = C-D
		Azadeh et al.	Haiqing et al.	Z. Wu, Ahmad, et Xu	Proposed			
Rank	Preactor	1	1	1	1	0	0	0
	SPA-APO	3	3	4	3	0	0	1
	Oracle ASCP	2	2	3	2	0	0	1
	Infor	4	4	2	4	0	0	-2

The ranking comparison result shows that, the ranking obtained from the proposed methodology is the same with the approaches (A) and (B) while in approach (C), there are changes observed. In fact, with the approach (C), SAP-APO software is at least position while Infor software is at second position and Oracle ASCP software at the third position. This difference observed can be explained by the fact that the approach (C) uses the standard

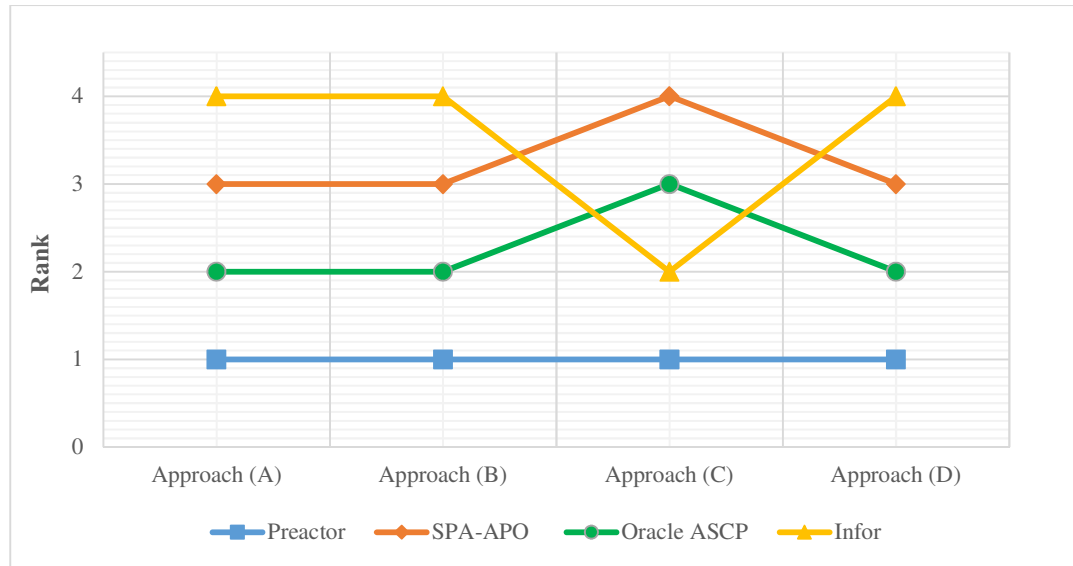


Figure 4.9 Comparative ranking with different approaches

QFD method in contrary to the modified QFD developed proposed. As mentioned above, the HOQ in the standard QFD is composed only of the relevance of company needs and the correlation between company needs and selection sub criteria. The relevance of the sub criteria is not considered here as it is in the modified QFD of the proposed methodology. Furthermore, pair-wise comparison matrices from experts are not used here. Only the survey addressed to decision makers for the relevance of company needs is used. Otherwise, Preactor remains the best choice for all the approaches. This demonstrates the validity of our proposed methodology (You, You, Liu, & Zhen, 2015).

Further, from the ranking differences (Table 4.16), the relationship between the three approaches (A), (B), (C) and the proposed methodology is determined using Spearman's rank correlation test. The Spearman's test used statistics (Table 4.16) to calculate the correlation rank factor of two ranking lists. If the Spearman's rank is greater than 0.6, the relationship between the rankings is considered as good and significantly positive. In our case, it is observed (Table 4.17) that the Spearman's correlation rank factor obtained between the approaches (A), (B) and the proposed one is 1. This confirms the strong positive

Table 4.17 Spearman's Rank Correlation Test Statistics

Set of Ranking Methods	(A - D)	(B - D)	(C - D)
Squared Sum $\sum d^2$	0	0	6
Spearman's Rank - Correlation Coefficient $r = 1 - 6 \sum d^2 / n(n^2 - 1)$	1,000	1,000	0,400

relationship between the rankings obtained from the proposed methodology and the two approaches (A) and (B) from the literature. Regarding the approach (C), the Spearman's correlation rank factor is 0.4. This means that the correlation between the approach (C) and the proposed methodology is positive but not good. These results from the Spearman's correlation test were predictable with regard to the table 4.16 and figure 4.9.

Another hand, to check the influences of the strategy of the maximum group utility on the proposed APS selection methodology, a two-way sensitivity analysis is also carried out in the present research. The strategy of maximum group utility is expressed through the value v , considered to be equal to 0.5 in the illustrative example. Thus the sensitivity analysis is based on the value of v taken between 0 and 1. Table 4.18 contains the results (Q values) obtained for each value of v and figure 4.10 presents the ranking differences.

Tableau 4.18 Comparative ranking of APS software with values of v

		v values										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Q values	Preactor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SPA-APO	0,423	0,465	0,507	0,549	0,590	0,632	0,674	0,716	0,758	0,800	0,842
	Oracle ASCP	0,377	0,388	0,399	0,410	0,420	0,431	0,442	0,453	0,463	0,474	0,485
	Infor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

The sensitivity analysis shows that, the ranking orders are highly influenced by the value of v . This was expected since, v expressed the tolerance of utility and regret expected from the solution. When looking at the equation 4.21 expressing the value of Q , we can

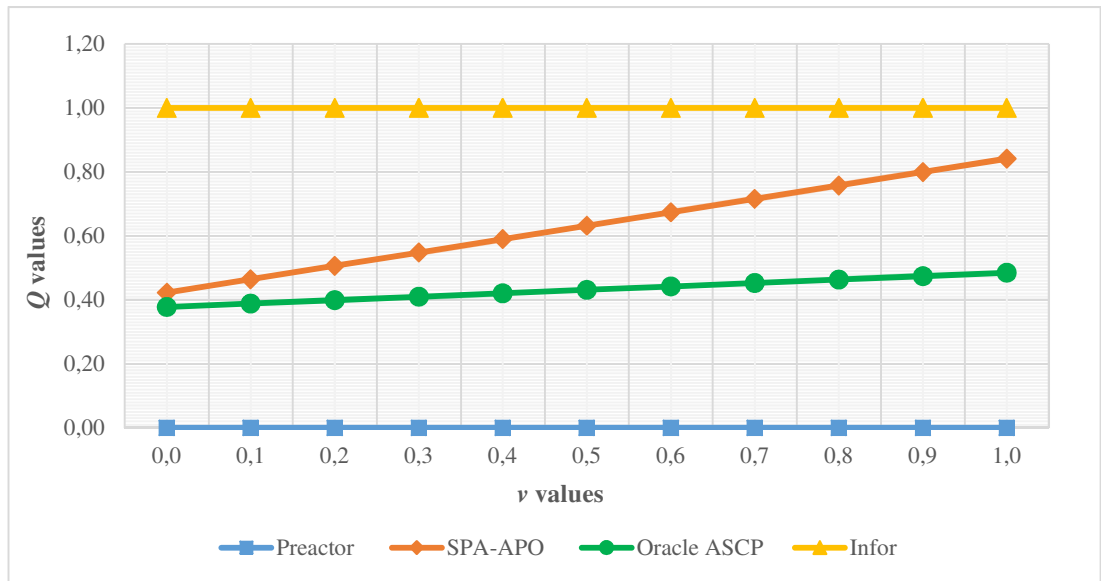


Figure 4.10 Comparative ranking of APS software with values of ν

mathematically predict that, the greater is ν , the ranking order obtain from Q should be closer to the one based on values of S . On the contrary, less is ν , more the ranking order should be closer to the one based on values of R . However, in the case study, despite there are significant changes observed regarding Q values, the ranking order remains the same for the four alternatives independently of the values of ν .

4.8 Conclusion

The goal of this paper was to develop a novel APS software selection methodology to help decision makers operate the choice that best meet their needs regarding planning and scheduling of operations. A review of available literature revealed a huge amount of selection approaches and methodologies for different engineering software (ERP software, PM software, PLM software, etc.), all based on MCDM techniques, mathematical programming, artificial intelligence or on the integration of those. However, there exists no systematic approach or study about the selection of APS software by using MCDM methods. Moreover none of those methodologies considered the needs of the company in a clear, direct and

efficient way. The novel approach proposed in this paper tries to fulfill those gaps by integrating a modified version of fuzzy QFD to fuzzy AHP and fuzzy VIKOR.

AHP helps in dealing with large set of criteria as it decomposes a complex multi-criteria decision-making problem into a hierarchy. Instead of four usual levels generally used in the literature in the hierarchical decision structure, a fifth level related to company needs is introduced in the novel proposed methodology. The obtained decision structure is qualified of hybrid hierarchical decision structure (Figure 4.7). Use of AHP also ensures strong and reliable results due to its pairwise comparison feature that allows calculation of the relative relevance of selection criteria and sub criteria. The modified QFD helps in translating the relevance of company needs into the calculation of the final weight of selection sub criteria that would be used in the ranking phase. VIKOR technique evaluates all alternatives through simple and rational calculations that come out with a compromise choice corresponding to a maximum “group utility” and a minimum regret of the “opponent”. The use of triangular fuzzy numbers reduces vagueness, uncertainties and ambiguity in the process and enhances the potential of conventional methods.

As results of this study, a set of 6 relevant criteria (including 3 from the literature and 3 new ones from this work) and 28 selection sub-criteria (including 6 from the literature and 22 new ones from this work) to consider in APS software selection have been identified. It is also shown that the proposed methodology is practical for ranking APS software with respect to multiple criteria, sub criteria and company needs. Besides, the proposed approach is applied to a real APS software selection problem for an aero-derivative gas turbines company. Thirty-one (31) company needs are identified and four (4) APS software (Preactor, SAP-APO, Oracle ASCP and Infor) are considered as alternatives. The result shows that Preactor is the best alternatives for the company. This application demonstrates the useful and easy implementation of the proposed methodology. Moreover, the novel methodology is transferable and can be used in a wide variety of application area using the specific company needs, criteria, sub criteria and alternatives set. Moreover, comparative analyses with some methodologies developed in literature were made to indicate the advantages of our developed

methodology and to validate it. A sensitivity analysis based on the v values have also been carried out. Another hand, the novel methodology is transferable and can be used in a wide variety of application area using the specific company needs, criteria, sub criteria and alternatives set.

However, considering weighting of the experts to enhance the e of the methodology remains a challenge as well as the development of a user-friendly application interface that can help in speeding up the evaluation process and simplifying the calculations. Moreover, other MCDM methods or consideration as intuitionists fuzzy sets theories can be introduced in the APS software selection problem and the results of different methods can be compared.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5.1 Introduction

La discussion est organisée en 5 sections dont les trois premières correspondent aux trois sous objectifs de la recherche qui sont la cartographie des processus, la capture des besoins et la conception d'une méthodologie de sélection de logiciel de POA. Pour chacun de ces sous objectifs, une revue des critères de rigueur scientifiques de la recherche (validité, transférabilité, fidélité des données) sera faite. Également, une discussion sera faite sur les résultats et les livrables obtenus de la recherche. Les limitations de la recherche et les recommandations pour les recherches futures seront également présentés.

5.2 Cartographie des processus de planification et d'ordonnancement de l'EP

Validation de la cartographie du processus de planification

La validation de la cartographie du processus de planification a été faite en présentant le résultat (Figure 3.2) à trois personnes de l'EP n'ayant pas participé au processus de modélisation. Il s'agit du directeur des opérations, du responsable de l'amélioration continue et du responsable de l'atelier de production. Ces personnes interviennent dans le processus de planification de l'EP. Cette validation est visible sur la figure 3.3 et correspond aux huitième, neuvième et dixième cycles de conception. On peut constater sur la figure 3.3 qu'aucune nouvelle donnée n'a été enregistrée durant ces trois cycles de conception. Par ailleurs, ces personnes ont approuvé la cartographie et les informations qu'elle contient.

Validation de la cartographie du processus d'ordonnancement

La validation de la cartographie du processus d'ordonnancement a été faite de la même façon que celle du processus de planification. Le résultat (Figure 3.5) a été présenté au directeur des opérations, au responsable de l'amélioration continue et au responsable de l'atelier de production qui ont approuvé la cartographie et les informations contenues. De plus, sur la

figure 3.6 les huitième, neuvième et dixième cycles de conception indiquent le fait qu'aucune nouvelle donnée n'a été proposée par ces personnes.

Transférabilité des résultats de la cartographie des processus

La méthodologie développée pour la cartographie des processus est transférable à d'autres secteurs d'activités. Concernant les résultats obtenues (les cartographies des processus de planification et d'ordonnancement de l'EP), elles ne sont pas transférables car les données utilisées sont propres à l'EP.

La fidélité des données utilisées pour la cartographie des processus

La saturation empirique a permis de s'assurer que les données recueillies auprès des preneurs de décisions de l'EP soient saturées. Ceci est un des éléments permettant de s'assurer de la fidélité des données. Cependant, un seul dispositif de collecte de données a été utilisé, ne permettant pas la comparaison des données obtenues. De plus, aucun expert externe à l'étude n'a été invité à analyser les données qui ont servi à la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement. En résumé, la fidélité des données pour cette partie de l'étude n'a pas pu être vérifiée.

Contributions

Afin de répondre au premier sous objectif de la recherche, une nouvelle méthodologie de cartographie de processus s'appuyant sur la science de la conception et intégrant le diagramme de flux croisés et le diagramme SIPOC a été développée. Sur le plan industriel un état des lieux de la planification et de l'ordonnancement des opérations de l'EP a été fait suite à la cartographie des processus de planification et d'ordonnancement.

5.3 Capture des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement

Validation de la liste des besoins de l'EP

La validation de la liste des besoins de l'EP a été faite de la même façon que la validation des livrables de la cartographie des processus. La liste finale des besoins de l'EP (Tableau 3.2) a

été présentée au directeur des opérations et aux acteurs principaux de la planification et de l'ordonnancement des opérations. Tous ont approuvé la liste. Sur la figure 3.7, les huitième, neuvième et dixième cycles de conception témoignent de cette validation.

Transférabilité de la liste des besoins

La méthodologie développée dans cette étude pour la capture des besoins est transférable à d'autres secteurs d'activités. Concernant la liste des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations, elle n'est pas transférable, car les données utilisées sont propres à l'EP.

La fidélité des données utilisées pour l'établissement de la liste des besoins

Tout comme dans le cas de la cartographie des processus, l'utilisation de la saturation empirique permet en partie d'assurer la fidélité des données. Cependant, l'utilisation d'une seule approche de collecte de données ne permettant pas la comparaison des données collectées et le fait qu'aucun expert externe à l'étude n'a été invité à analyser les données font que la fidélité des données ne peut être totalement assurée.

Contributions

Une nouvelle méthodologie s'appuyant sur la science de la conception a été développée pour la capture des besoins. Cette méthodologie s'appuie sur les cycles de conception (approche itérative), les entrevues individuelles et de groupes et sur l'étude de la saturation empirique. Sur le plan industriel cette étude a permis de capturer l'ensemble des besoins de l'EP relatif à la planification et à l'ordonnancement des opérations.

5.4 Conception d'une méthodologie de sélection de logiciels de POA

Validation

Comme présenté plus haut, ce sous objectif de la recherche a débouché sur deux principaux livrables qui sont la méthodologie de sélection de logiciels de POA et la liste des critères et

sous critères de sélection. La validation de la méthodologie de sélection conçue a été faite en l'appliquant au cas de l'EP. La liste des critères et des sous critères de sélection a été validé de la même façon que la liste des besoins de l'EP. Seulement, dans ce cas, ce sont les 6 experts qui ont travaillé à son établissement et à sa validation.

Transférabilité

La méthodologie conçue pour la sélection de logiciels de POA est transférable à d'autres secteurs d'activités. Il en est de même de la liste des critères et des sous-critères de sélection des logiciels de POA qui est aussi transférable du fait de la diversité des profils d'experts ayant participé à son établissement. Cette transférabilité reste tout de même limitée, au regard du nombre très limité d'experts (6 experts) ayant participé à l'étude. Par contre, la recommandation du logiciel Preactor comme logiciel de POA le mieux adapté aux besoins de l'EP reste un résultat propre au cas de l'EP. Il n'est donc pas transférable, car les données utilisées sont propres à l'EP.

Contributions

Pour ce sous objectif, deux contributions majeures ont été identifiées.

Premièrement, une liste de critères et de sous critères pertinents pour la sélection des logiciels de POA a été établie avec l'apport d'experts du domaine de la planification des opérations. Au total, 6 critères de sélection (dont 3 de la littérature et 3 nouveaux) et 28 sous-critères de sélection (dont 6 de la littérature et 22 nouveaux) ont été identifiés.

Deuxièmement, une méthodologie de sélection adaptée à la sélection des logiciels de POA a été conçue. Dans la littérature, on retrouve plusieurs méthodes de sélection de logiciels manufacturiers (ERP, PLM, etc.), mais aucune méthodologie pour la sélection des logiciels de POA. Une nouvelle méthodologie de sélection multicritères intégrant trois méthodes (i) une version modifiée du DFQ, (ii) AHP et (iii) la méthode VIKOR a été mis en place. La théorie des nombres flous a été utilisée dans ces différentes méthodes. L'intégration de ces trois méthodes n'avait pas encore été réalisée dans la littérature couverte. Cette intégration a

été possible en modifiant les versions standards du DFQ et l'AHP. De plus une structure hiérarchique décisionnelle hybride à 5 niveaux, dont l'un relié aux besoins de l'entreprise a été mise en place dans cette étude (Figure 4.7). Sur le plan industriel, le logiciel Preactor a été sélectionné parmi 4 logiciels (Preactor, SAP-APO, Oracle ASCP, Infor) et recommandé à l'EP comme étant le logiciel qui serait à même de satisfaire au mieux ses besoins relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations.

5.5 Les limitations de la recherche

La présente étude présente plusieurs limites décrites ci-dessous :

Premièrement, la principale limitation de cette étude se trouve dans l'évaluation du principal résultat issue de la recherche qui est la recommandation d'un logiciel de POA. En effet, en raison des contraintes de temps, l'évaluation du logiciel Preactor n'a pas été faite dans cette étude. Il est donc impossible de conclure sur les performances réelles du logiciel vis-à-vis des besoins identifiés de l'EP et par conséquent de porter un regard critique et objectif sur la méthodologie globale ayant permis d'opérer ce choix.

Deuxièmement, la méthode de la science de la conception a été utilisée dans cette étude pour l'atteinte des différents objectifs de la recherche. Pour le troisième sous objectif de la recherche qui est la conception d'une méthodologie de sélection, seule l'étape de conception préliminaire a été réalisée dans cette étude. Les cycles de conceptions en vue du perfectionnement et de l'amélioration n'ont pas été engagés.

Troisièmement, comme mentionné plus haut, la fidélité des données collectées dans cette étude n'a pas été vérifiée et par conséquent ne peut être assurée.

Quatrièmement, la transférabilité de l'étude n'est pas totalement assurée en raison du nombre d'experts externes impliqué, qui est très limité (6 experts). De plus les résultats de l'étude

relatifs à la cartographie des processus et à la capture des besoins sont propres aux données de l'EP et donc ne sauraient être transférables à d'autres entreprises.

Cinquièmement, l'implication des jugements humains reste un facteur limitant du fait de l'ambiguïté et de l'incertitude qui entoure ces jugements. Ceci reste vrai malgré l'utilisation des nombres flous qui ne font que réduire sans éliminer l'incertitude autour des avis humains (collecte des données auprès des experts et des preneurs de décision).

5.6 Les recommandations pour les recherches futures

Les recommandations suivantes ont été formulées pour de futures recherches.

Premièrement, afin de finaliser l'adoption du logiciel recommandé à l'EP, une phase d'évaluation du logiciel recommandé Preactor devra être conduite sur un modèle réduit de fonctionnement de l'entreprise. Cette phase d'évaluation pourra également permettre de faire une analyse critique objective sur la méthodologie globale qui a été mise en œuvre dans cette étude pour arriver au choix du logiciel Preactor.

Deuxièmement, la méthodologie de sélection développée dans cette étude intégrant trois méthodes différentes (QFD, AHP et VIKOR) peut s'avérer ardue à mettre en œuvre en cas de quantités de données très importantes. Il serait donc intéressant d'automatiser la méthodologie en développant une application informatique avec une interface graphique pour faciliter le déploiement de la méthodologie.

Troisièmement, il existe plusieurs autres méthodes de sélection dans la littérature (PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, etc.). Des études comparatives entre la méthodologie proposée dans cette étude et ces différentes méthodes ou des méthodologies s'appuyant sur eux pourraient être conduites.

Quatrièmement, dans cette étude, la logique des nombres flous triangulaires a été utilisée pour réduire l'incertitude autour des jugements humains. Il serait indiqué de considérer d'autres types de nombres flous tels que les nombres flous intuitionnistes, trapézoïdales ou à intervalles et de conduire des études comparatives avec la méthodologie de sélection développée dans l'étude.

Cinquièmement, un nombre plus grand d'experts en planification des opérations pourrait être invité à travers des enquêtes et dans le cadre des cycles de conceptions à contribuer davantage à la consolidation de la liste des critères et des sous critères de sélection des logiciels de POA.

Sixièmement, les méthodologies développées dans cette étude et notamment celle relative à la sélection des logiciels de POA pourraient être appliquées dans d'autres entreprises afin de confirmer davantage la transférabilité de l'étude.

CONCLUSION

Ce travail réalisé en partenariat avec une entreprise du secteur de la fabrication des moteurs dérivés des moteurs d'avions est destiné à l'accompagnement de l'EP dans son projet d'amélioration de la planification et de l'ordonnancement de ses opérations. En effet, en vue d'améliorer la planification et l'ordonnancement de ces opérations, l'EP a opté pour la sélection et l'implantation d'un logiciel commercial de POA et nous à solliciter pour la phase de sélection. Il est donc question de déterminer celui qui satisfait au mieux les besoins de l'EP. Pour y arriver, la science de la conception a été utilisée comme méthodologie générale de recherche. Par ailleurs, il a fallu dans un premier temps cartographier les processus de planification et d'ordonnancement de l'EP afin de pouvoir avoir une vue d'ensemble de la situation dans l'entreprise. Il s'en est suivi une phase de capture des besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations. Ceci a été suivi par la mise en place d'une nouvelle méthodologie de sélection adaptée au cas des logiciels de POA.

La cartographie des processus a été réalisée en intégrant le diagramme de flux croisés et le diagramme SIPOC afin de combiner leurs différents avantages. La nouvelle méthodologie développée s'appuie sur l'intégration d'une version modifiée du DFQ et sur deux méthodes de prise de décision multi critères bien connus qui sont l'AHP et la méthode VIKOR. Cette intégration se justifie par le souci de permettre une prise en compte combinée d'avis d'experts (évaluation des critères et sous critères de sélection à travers l'AHP) et d'avis des employés de l'EP (identification des besoins de l'EP et détermination de leur pertinence). La méthode VIKOR à travers des calculs mathématiques simples et rationnels permet d'opérer un choix de solution qui soit un compromis entre l'utilité et le regret. La théorie des nombres flous triangulaires a par ailleurs été utilisée pour réduire l'imprécision, l'incertitude et l'ambiguïté autour des jugements humains (sondages réalisés auprès des experts et des preneurs de décision dans l'EP).

Comme résultats, une liste de 6 critères de sélection (dont 3 de la littérature et 3 nouveaux) et de 28 sous-critères de sélection (dont 6 de la littérature et 22 nouveaux) ont été identifiés

comme critères et sous critères de sélection des logiciels de POA a été mise en place à travers un processus de modélisation par cycle soldé par une saturation empirique de données proche de 100 %. Une liste de 31 besoins a été établie. Au terme du processus de sélection ayant engagé quatre logiciels qui sont Preactor, SAP-APO, Oracle ASCP et Infor (pour leur renommée mondiale et le fait qu'ils occupent les premières places en termes de parts de marchés), le logiciel qui s'est avéré être le plus apte à satisfaire les besoins de l'EP en termes de planification et d'ordonnancement des opérations est Preactor. Afin de valider la nouvelle méthodologie développée et ce résultat, une étude comparative a été faite avec trois méthodologies proposées dans la littérature qui sont : (a) l'AHP floue (Azadeh et al., 2010), (b) l'intégration de l'AHP floue et de la méthode VIKOR floue (Haiqing et al., 2014), et (c) l'intégration du DFQ floue et la méthode VIKOR floue (Z. Wu et al., 2016). En appliquant ces différentes méthodologies au cas de l'EP, le logiciel commercial de POA Preactor apparaît comme étant le mieux à même de satisfaire les besoins de l'EP relatifs à la planification et à l'ordonnancement des opérations.

Par ailleurs, une analyse de sensibilité a été conduite suivant les valeurs du paramètre ν ($0 \leq \nu \leq 1$), utilisé dans la méthode VIKOR. Ce paramètre représente le poids que l'entreprise décide d'affecter au niveau d'utilité attendue de la solution finale en opposition au niveau de regret qui lui est exprimé par la valeur $(1 - \nu)$. Par défaut $\nu = 0,5$. L'analyse de sensibilité a consisté à faire varier de 0 à 1 (par pas de 0,1) les valeurs de ν et à réévaluer la classification des logiciels. Pour les 10 valeurs de ν , la classification des logiciels reste la même, avec toujours le logiciel Preactor en première place.

Contributions de la recherche

La problématique à laquelle a répondu cette étude est la détermination du logiciel de POA qui satisfait le mieux les besoins de l'EP. L'atteinte de cet objectif a induit plusieurs contributions tant scientifiques qu'industrielles.

Les contributions scientifiques de la recherche sont :

- Une nouvelle méthodologie de sélection des logiciels adaptée aux logiciels de POA;

- Une liste de critères et sous critères pertinents pour la sélection des logiciels de POA;
- Une méthodologie de capture des besoins;
- L'intégration d'une version modifiée du DFQ et des méthodes multicritères de prise de décision AHP et VIKOR avec l'utilisation des nombres flous.

Les contributions industrielles de la recherche sont :

- L'état des lieux sur la planification et l'ordonnancement des opérations de l'EP;
- La modélisation des processus de planification et d'ordonnancement;
- La recommandation d'un logiciel de POA adapté aux besoins de l'EP.

Les recommandations pour les recherches futures

Les recommandations pour les recherches futures ont été présentées et détaillées dans le chapitre 5 portant sur la discussion. Les grandes lignes de ces recommandations sont :

- L'évaluation du logiciel recommandé Preactor sur un modèle réduit de fonctionnement de l'entreprise;
- L'automatisation de la méthodologie de sélection conçue par le développement d'une application informatique;
- La réalisation d'études comparatives entre les méthodes de sélection (PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, etc.) et la méthodologie de sélection proposée dans ce travail;
- La considération d'autres types de nombres flous tels que les nombres flous intuitionnistes, trapézoïdales ou à intervalles dans la méthodologie de sélection;
- L'implication d'un plus grand nombre d'experts en planification des opérations;
- L'application des méthodologies développées dans cette étude à d'autres entreprises afin de confirmer davantage la transférabilité de l'étude.

ANNEXE I

LISTE DES RÉALISATIONS RELATIVES À CE PROJET DE RECHERCHE

- 1) Article de conférence référencé par (Voir ANNEXE III, p 131) :

Piengang, Fabrice Chilly Ngamaleu et Beauregard, Yvan et Kenné, Jean-Pierre. 2017. « Introduction to optimization of decision-making in coupled, dynamic and uncertain production, maintenance and product development environment ». In 38th International Annual Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM 2017) (Huntsville, AL, USA, Oct. 18-21, 2017), p. 210-220. ASEM.

- 2) Activité de vulgarisation scientifique (Voir ANNEXE II, p 144):

Ngamaleu Piengang, F., « Prendre des décisions en toute assurance ». Concours de vulgarisation scientifique par affiche, École de technologie supérieure (ÉTS), édition 2017 Troisième prix.

- 3) Article de journal référencé par (Voir Chapitre 4, p 69):

Piengang, Fabrice Chilly Ngamaleu et Beauregard, Yvan et Kenné, Jean-Pierre. 2017. « A novel APS software selection methodology integrating fuzzy QFD, fuzzy AHP and fuzzy VIKOR ». En révision, soumis en avril 2018. Computers & Industrial Engineering.

- 4) Rapport d'évaluation du logiciel Preactor en entreprise :

Ngamaleu Piengang Fabrice Chilly, 2017, « Rapport de l'évaluation pratique du logiciel Preactor sur de données de l'entreprise partenaire».

ANNEXE II

INTRODUCTION TO OPTIMIZATION OF DECISION-MAKING IN COUPLED, DYNAMIC AND UNCERTAIN PRODUCTION, MAINTENANCE AND PRODUCT DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Fabrice Chilly Ngamaleu Piengang, MS¹

Yvan Beauregard, Ph.D., PMP, MBA, P.E.¹

Jean-Pierre Kenné, Ph.D., P.E.¹

¹ Department of Mechanical Engineering, École de technologie supérieure,
1100 Notre - Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada.

Paper reviewed, accepted and presented at ASEM 2017 International
Annual Conference, in October 2017, Huntsville, Alabama, US

Abstract

The joint use of manufacturing facilities for production, repair of goods or new product development is an ever-increasing reality for several companies. In a context of increasing demand for manufacturing facilities with finite and variable capacity over time, we are particularly interested in developing an approach for planning control to plan operations in such way of maximizing performance, flexibility and agility . This especially addresses the problem of dynamic allocation of resources in an uncertain and dynamic environment of production, repair of goods and product development. The goal of this work is to review a set of past studies that can contribute to future researches in the optimization of decision-making in such coupled, dynamic and uncertain environment. A synthesis of approaches and models developed in previous work is presented as well as their limits. Potential areas of research are discussed in relation to the terms of manufacturing system performance measurement, capacity and reliability of dynamic manufacturing systems, product development and scheduling under uncertainty. The future work introduced by this paper and the industry 4.0 concepts implications are also discussed.

Keywords

Decision-making, dynamic project management, production, scheduling under uncertainty, dynamic environment, maintenance, product development, resource allocation.

Introduction

Manufacturing systems management problems exist since the 20th century, marking the end of the craft industry and the beginning of an industrial era (David & Christian, 1999). Several researchers have addressed this issue and have developed many approaches to assist managers in decision-making. Emphasis had been placed on manufacturing systems intended solely for production and on several of its variants. For example, Rivera-Gómez, Gharbi, et Kenné (2013) have studied the influence of quality control on production planning. On their side, Muchiri, Pintelon, Martin, et Chemweno (2013) have worked on the influence of maintenance policy on the performance of production systems. Most of these decision support models are based on

performance evaluation whose foundations had been analyzed by Benita (1999) thru the development of a universal framework for the selection of performance measures. However, the study of multiservice manufacturing systems has received very little attention in contrast to systems designed solely for production. This is the case for coupled manufacturing systems dedicated to production, repair of goods and product development. The joint use of manufacturing facilities for production, repair of goods and product development is a reality for several companies. This entails a number of advantages (less investment, maximum occupancy of facilities, less maintenance activities), but also disadvantages (in case of large and varied demand, there is a risk of lack of resources, failure to meet deadlines etc.). For such multiservice manufacturing systems, in a context of ever-increasing demand and facilities with finite and variable capacities over time, it is legitimate to question the performance incurred and the optimal approach for planning activities. Eickemeyer, Herde, Irudayaraj, et Nyhuis (2014) have worked in this direction, but they have limited their studies to repair of goods. It is also the case of Beauregard (2010), who has worked on the planning of activities in a product development environment through the optimal allocation of resources to tasks. Although those approaches proposed for resource allocation problems work, they lie on a static principle. Indeed, the optimization is done only during the planning phase, before the start of activities. It is not possible to adapt in real time the initial planning to integrate changes observed during the projects execution phase to meet deadlines and costs budgeted. All this results in a lack of agility and dynamism in activities control. Another milestone in those approaches is their limitation to a single service in which production systems, repair of goods and product development are not conjointly considered.

This paper reviews a set of past work and papers related to decision-making optimization problems in coupled, dynamic and uncertain environment of production, repair of goods (MRO: Maintenance repair and overhaul) and product development. This would help to build a synthesis of approaches and models developed in this field and to highlight their specificities, limitations and common points.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 classifies elements and themes that are involved in decision-making in such coupled, dynamic and uncertain environment of production, repair of goods and product development. Section 3 presents a review of those elements and themes through approaches and models developed for each. It also suggests and discusses some axes of research. Section 4 concludes the paper with an emphasis on one research axis that will be part of our future work.

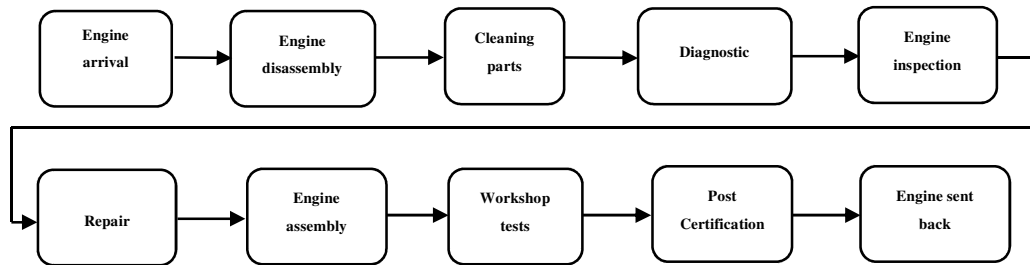
Elements Involved in Decision-making in Such Environment

Decision-making concerns several aspects of a manufacturing system. Decisions are made with a view to achieve an objective in the form of an optimization problem. Thus, managers will make decisions to optimize the performance of the system according to pre-established criteria espousing company general objectives and strategy. In a multi-service environment, the complexity of such decision-making problems is even more pronounced because of the constraints and realities specific to each service. In the present case, a global manufacturer of industrial turbines for energy markets, the system is made up of the production, the repair of goods and the product development.

Out of these three services, production is carried out according to a fixed and standard procedure. The type of product is known in advance and the execution steps, the necessary resources, the delays, the induced costs are also known. There is therefore no uncertainty in terms of missing information in the determination of the necessary resources and the time required for execution.

Regarding the repair of goods (MRO), it presents several levels of uncertainty whose main source lies in the uncertain outcome of diagnosis and inspection tasks. Exhibit 1 below adapted from Zilli et al. (2015) illustrates a general operation network for a repair project (MRO). Indeed, depending on the outcome of the inspection tasks, the need for spare parts may arise. If this is the case, they must be ordered if there is no stock. This leads to delays in operation and to a loosening of resources. On the other hand, stocks should not be constituted in a hazardous way to end up with dormant stocks that penalize the business. Hence the need for dynamic approaches to manage finite systems capabilities allowing to justify spare stock, to adjust system capacity at all times and to meet agreed contractual deadlines with customers. Another point is the arising of unplanned tasks after an inspection or diagnosis tasks. This would also have an impact on the initial deadline and on the resources allocation.

Exhibit 1. Illustration of a repair project operation network. Adapted from Zilli et al. (2015).



Concerning product development, since it is an iterative process, there is uncertainty in the form of missing knowledge all along the line. This is even more pronounced during the testing and certification phase. The high number of changes during the execution phase create huge disturbance on the scheduling and resource requirements.

From this analysis, six main themes emerge around which the problem of decision-making lies in an uncertain and dynamic manufacturing environment of production, repair of goods and product development. These are performance management systems, new product development, finite and variable capacity management, MRO (maintenance, repair and overhaul), dynamic resource allocation and scheduling under uncertainty.

Literature Review

This section constitutes the heart of the paper. It reviews previous works related to various themes mentioned in section 2, which constitute the main points when it comes to decision-making in a coupled, dynamic and uncertain environment of production, repair of goods and product development.

Performance Measurement in Manufacturing System

Performance is the central element characterizing every process, every service, and even every machine. It is everywhere, when it comes to evaluation. In the manufacturing system, performance is at the heart of all optimization projects. These projects can be divided into different aspects, such as optimization of production, optimization of quality, optimization of maintenance, etc. The ultimate goal is very often to reach a maximum or an optimal. When it comes to measuring performance in the manufacturing system, several questions are put forward. These are mainly measurement criteria, performance measurement, systems implementation, and the effect of related elements on performance such as the effect of production, maintenance or procurement policy.

Performance measurement criteria. There is a multitude of performance measurement criteria depending on the company's business sector and the service evaluated. Several research works have contributed to organize these criteria and to define elements that should guide the choice of one over another.

Among these works, Benita (1999) has focused on selection of performance measuring systems for manufacturing systems. Firstly, it presents and evaluates performance measuring models mainly used in previous research. He found out that the two frequently used performance criteria are the cost and the combination of cost and customer response. The cost is very often used in the form of inventory costs, incurred costs, while the response of the customer is taken into account in the form of probability of stock shortage, delivery time or satisfaction rate. He has also presented the performance measures categories established by Neely, Gregory, et Platts (1995) and noticed that they were based on quality, cost, time and flexibility. Subsequently, by relying on the fundamental elements that constitute the company's strategy, Benita (1999) reorganized the performance measurement criteria in three categories illustrated below in Exhibit 2.

Exhibit 2. Performance measurement criteria categories (Benita, 1999).

Categories	Specifications	Criteria
Resource-related measures	Characterize the elements that make up the system as machine, human resource, etc.	Distribution costs, production costs, total cost, inventory costs, return on investment, etc.
Output related measures	Measure the output characteristics of the system	Sales, profit, customer satisfaction rate, service rate, deadlines, returned products, customer response, delivery errors, customer queries, etc.
Flexibility related measures	Measure the system's ability to respond to changes such as demand increase, breakdowns, drop in production, etc.	Flexibility on product volume, flexibility in delivery times, flexibility between products, flexibility in integrating new products, etc.

In the literature, in addition to research on the organization and the classification of performance measurement criteria, several studies have focused on the development of performance measurement systems and many approaches and models have been developed.

Development of performance measurement systems. There are a large number of models and approaches developed for the manufacturing system performance measurement. Benita (1999) presents four characteristics for the evaluation of performance measurement approaches and models. These are inclusiveness (the model must take into account all important aspects of the system), consistency (the model must be aligned with the consistency of the company's objectives), measurability (the data needed for the model must be measurable) and universality (the model must allow the system to be compared under different operating conditions). Thus, according to Benita (1999), a performance measurement system will be effective if it is inclusive, measurable, consistent and universal. Multi-criteria performance measurement systems can be distinguished from those with a single criterion.

Single-criteria measuring systems are the most used, in particular because of the simplicity of their implementation. Their main handicap is the lack of inclusion. They have been used by the majority of the researchers like Rivera-Gómez et al. (2013), Kenné, Dejax, et Gharbi (2010), who have used the cost as the only performance criterion in their work. Concerning multi-criteria measurement systems, they are more complex to implement. Very little researchers have used it. Benita (1999) emphasizes this, and advocates a system of performance measurement taking at least three performance criteria among the resources, outputs and flexibility of the system. Muchiri et al. (2013) partly follow this logic. They have used the Overhaul Equipment Effectiveness (OEE) for performance measurement through three elements: availability (A), performance rate (P) and quality rate (Q). Although this performance measurement system is multicriteria, it presents a lack at the level of consistency regarding the economic objectives of the company. That is why a cost-oriented extension of it has been put in place. This is OECL (Overall Equipment Cost Lost) (Muchiri & Pintelon, 2008).

Elements that influence manufacturing performance. A manufacturing system consists of a set of clusters such as supply, demand, production and maintenance. The management of these clusters, made up of random events, has a direct or indirect impact on the performance of the manufacturing system as a whole.

Muchiri et al. (2013) have studied the effect of the maintenance policy on the performance of the manufacturing system. They disregard the mathematical approach used in previous works for their complexity and their failure to take into account all the elements that characterize the system, before opting for simulation as an analytical tool. They have put in place a simulation model that has three modules, one for faults, another for deterioration and another for maintenance effect. They use the Overhaul Equipment Effectiveness (OEE) as performance measurement system that evaluates system performance through three measures: availability (A), performance rate (P), and quality rate (Q). Its quantitative expression is given by the equation

$$OEE = Availability (A) \times Performance rate (P) \times Quality rate (Q) \quad (1)$$

Muchiri et al. (2013) show the effect of the maintenance policy on the performance of manufacturing systems by analyzing a set of generally applied maintenance policies. These are corrective maintenance (FBM),

systematic or traditional preventive maintenance (TBM) and conditional maintenance (CBM). They note that corrective maintenance is the least efficient of the three policies and that, associating the systematic preventive maintenance to it, leads to a better system. However, for non-age-deteriorating equipment, traditional preventive maintenance does not add value to system performance, but increases system downtime without improving OEE performance. This justifies the fact that corrective maintenance is in some cases the best maintenance policy. Concerning conditional maintenance, Muchiri et al. (2013) have found that, it is the best in terms of maintenance policy. This is justified by the fact that any action is taken only once the need has been reported, which makes it possible to reduce the downtime due to the interventions. However, this policy is rather complex and costly in terms of means required for its implementation and monitoring. Finally, Muchiri et al. (2013) recommend evaluating other economic parameters in addition to OEE performance before opting for such a policy (CBM).

Research axes in performance measurement of manufacturing systems. Benita (1999) categorizes performance criteria most often used by researchers and proposes to base the development of measurement systems on company strategy. The categories include measures related to resources, outputs and flexibility. Another category to be integrated could be input related measures. They would combine measures related to the manufacturing system inputs such as raw material quality, diversity of suppliers, etc. Thus, the setting up of a model for the development of performance measures integrating these 4 categories of measures could be a challenge for future research.

Muchiri et al. (2013) study the effect of maintenance on system performance. Maintenance is not an isolated pole of the manufacturing system. Maintenance and production policies are linked. Thus a study of the joint impact of the maintenance and production policy on the performance system would be an additional contribution.

Product Development

The development of new products is a global process involving design, production and marketing of new products that meet certain customer demand. New product development takes place through a relatively complex system of processes, procedures, information and resources (Jaifer, Beauregard, & Bhuiyan, 2016). This system must be managed in such a way as to minimize costs and to meet deadlines. This justifies the need for models and approaches to manage such projects in such joint environment of production, repair and development. Those models should allow responses to temporal and financial constraints by considering the uncertainties associated with the risk incurred, the scheduling of activities and changes that may occur.

Product development approaches and models. In the literature, there are several works related to different aspects of product development projects. Those aspects are mainly performance measurement, change management, risk management and operations management.

Jaifer, Beauregard, and Bhuiyan (2016) have produced a review on these various aspects of product development management. In particular, they focused on performance management in product development and they highlighted several important facts that raise difficulties in the development and the implementation of performance measurement systems. One of those facts is the complexity of product development projects. Jaifer et al. (2016) also highlighted changes that take place during product development projects and the need for new models adapted to this reality. These changes result from the acquisition of new product data, new technologies or changes in customer demand during project completion. Due to the uncertainty that characterizes their arrival, their impact on the project, these changes can significantly affect the performance of the system. As models developed to manage those changes, we have the model developed by Karniel et Reich (2007), based on the adaptability of processes and the model developed by Levardy et Browning (2009) based on the adaptability of activities.

Levardy et Browning (2009) propose a two steps flexible approach to manage product development projects. The first step is the establishment of a set of “activity modes” for each project activity. These are the possible states that an activity might encounter during its execution. For each state, an expected added value is associated. This expected value depends on the project stage, the potential of the activity state to reduce the technical, financial risks, and the deadlines associated with risk. Harold (2013) defines risk as a measure of the probability and consequence of not achieving a defined project goal. Risk is used for assessing the added value

of engineering activities. Once the activities added value is determined, the added value of the project is then evaluated as the sum of all the added values of activities taken in a certain mode. The second step is the simulation, on a regular basis or not, of all possible scheduling scenarios of the project. The scheduling (path) that achieves the optimal added value (minimal risk) for the project is chosen as scheduling of the project.

Another increasingly popular approach in product development practices is lean engineering. Numerous product development research contributes to further integrating those lean engineering concepts. This is the case with Beauregard, Polotski, Bhuiyan, et Thomson (2017). They address the problem of optimal use of human resources in product development projects in a multitasking context. They raise the fact that there is no analytical model in the literature for determining the optimal level of multitasking by engineers. Previous works have focused on the diversity of activity sectors or have been limited to very qualitative models. The main objective of Beauregard et al. (2017) is to make the process of product development much leaner than it is currently, through the establishment of a new model that relies on the queuing theory and that will allow decision makers to integrate the notion of optimal tasks number per engineer in product development projects. They use enterprise data and the notion of optimal tasks size in their model. The Economic Design Quantity (EDQ) is used to determine the mathematical expression of the optimal tasks size. The cost is also determined analytically. The queuing theory based on minimal cost is used to determine the optimum rate of arrival of tasks in the system. Tasks are introduced into the system at the discretion of the decision-makers according to the technical and budgetary constraints associated with each one. Given the complexity of the system network, Beauregard et al. (2017) used an open Jackson network with multiple nodes and servers for modelling the system's network. A business case is simulated with a total of 69,000 tasks involving 732 engineers over a year. The results obtained propose a utilization rate of less than 75% of the resources, and a number of tasks per engineer fewer than two.

Research themes in management of product development. To date, the models of new-product development management remain limited due to their lack of dynamism. Lévardy and Browning (2009) have tried to overcome this by introducing a new approach both in terms of design and functioning. Future research could be the introduction of discrete event simulation in project management models. The tasks modelling and their mode, proposed by Lévardy and Browning (2009), could then be used for the design of a simulation model that will automatically update the resource status and requirement, the task status and the optimal task execution path. Another area of research would be the integration into product development management of stochastic commands methods that have been successfully used in manufacturing production field. A first work in this direction would be to carry out an analogical study between the two domains.

Dynamic management of finite capabilities and MRO project (maintenance, repair, overhaul)

Uncertain and dynamic environment group together a set of random events. All this leads to the emergence of problems in the management of human and material resources during operations. Indeed, the system at any given moment can be solicited for more or less effort, according to those random events. If there is more capacity than necessary, the company loses money and if there is less, the company runs the risk of not meeting its production targets. It is therefore essential to adjust at all times the capacities in material and human resources of the company in order to ensure ultimately an optimal production cost in an uncertain and dynamic environment. This is what dynamic management of finite capabilities systems is all about.

Capacity management models in manufacturing systems. There is a wide variety of capacity management models that depend on the type of activity, operation or project to which it applies. Some of these models are developed on an analytical basis approaches while others are the integration of several techniques of management that are found in the literature.

For the first case, an illustration is the work of Kurz (2016). Indeed, Kurz (2016) developed a capacity management model that uses queuing theory to model the task realization network. He bases his study on a practical case of MRO applied to aircraft engines. Each station of the repair system is requested and depending on the capacity of the repair system, a queue is created. Kurz (2016) proposes a model that would define the exact capacity of each station in order to minimize production costs. The specificity of his approach compared to previous work is that he includes the cost of delay penalties due to non-compliance with the contractual deadlines in addition to the cost of resources. In previous work, we have, on one side, approaches that optimize the cost of capacities to meet time constraints and on the other side approaches that optimize delays in order to

minimize the cost of allocated capacities. In addition to all this, an important aspect in Kurz (2016) is the attention paid to the management of information. He studies the problem of sharing information on the engines operation, through a system of collaborative planning between customers and service companies. According to Kurz (2016), the manufacturing company directly receiving technical data from engines can anticipate the planning of maintenance operations. The advantage of this would be the reduction of variability on engine arrival for repairing and then the anticipation on the capacity required at each station.

Concerning approaches that integrate several elements of management, we have the one developed by Premaratne et Senevi (2012). They are also interested in the problem of dynamic management of capacities, and more precisely in MRO. They pose the problem of optimizing the management of aerospace maintenance projects. They highlight the fact that recent solutions focus exclusively on human-resource allocation under different conditions and neglect other aspects as material planning, resource requirements and operations. As a solution, they propose to adopt a method known as “Unitary structuring technique” (Woxvold, 1992). They build a unique framework for simultaneous and dynamic manage resources, delays and operations. For that, they combine three models that are Material Requirement Planning (MRP—for the management of materials through the Bills of Material [BOM], which allows a hierarchical representation of elements that constitute equipment), Production Activity Control (PAC—for the management of routine tasks and the production network) and the Critical Path Method (CPM—a project management model based on the critical path).

Premaratne et Senevi (2012) consider the outcome of the inspection tasks present in the PAC network as the main source of uncertainty. Indeed, each of those tasks has several possible paths. For example, after inspection of a screw, it may happen that it has to be replaced, rectified, or not. In case of replacement, the part must be ordered and therefore the delivery time should be added in the planning (Premaratne and Seveni (2012) assume that the company cannot afford unjustified stocks). With the developed model, it is possible to integrate all the contingencies in the planning and to regularly evaluate the planning. This assessment will help to update the critical path, and determine the resource capacity required at each stage. The benefits of Premaratne and Senevi (2012) model are mainly the reduction of the spare parts inventory, the timely delivery of projects and the reduction of costs.

Besides these two visions of capacity management, we also have visions that rely on stochastic controls and Markov processes. It is the case of Stephan, Gschwind, et Minner (2010) and C.-H. Wu et Chuang (2012). Stephan et al. (2010) address the problem of capacity management in the automotive industry and use a multi-state stochastic dynamic programming as resolution approach. The variability of demand is modelled by a non-homogeneous Markov chain. One of the limitations of this work is the fact that it does not propose a detailed management between human and material resources, but rather an overall view of capacity, making complex its application in industry.

Wu and Chuang (2012) are interested in optimizing capacities by adjusting the capacities to the intensity of operations. They consider the uncertainty surrounding demand, price, yield and model the problem as a Markov decision-making process. Eickemeyer et al. (2014) looked at the management of capacities in the regeneration of goods (MRO) project through the question how to close the gap between the planned capacities at the beginning of the regeneration project (uncertain scheduling) and the actual capacity requirement identified during the project. Their objectives were to develop a management model that would enable MRO professionals to produce high-quality services at a lower cost and in a time-constrained manner (especially since, according to a survey carried out among MRO professionals, time-constrained are one of the most important criteria when choosing a MRO service company). To do this, they have developed a model that makes it possible to close the resources gap (between those initially planned and what is actually needed during the project). The Bayesian network was used to select the data needed to develop the decision-making model based on a deterministic approach. They consider three levels of management: the long-term (company-wide), the mid-term (departmental) and the short-term (workstation-wide, with responses to what tasks will be performed, at what times, at what station and in what order). They use mixed number linear programming to formulate and analyze the problem. One of the particularities of their work is the separation in the model of human and material resources, unlike Stephan et al. (2010).

Resources allocation Optimization. The allocation of resources is an important point in capacity management in a manufacturing system. It is more important when it comes to multi-service manufacturing systems such as a

production, repair and product development environment. There is very little work in the literature dealing with the dynamic and flexible allocation of resources during the operating phase of the system, unlike work that involves resource planning upstream of operations. As mentioned above, it is the case of Eickemeyer et al. (2014) who in their work, plan in the short term, the policy of allocation of finite and available resources of the company. While the approach allows resource planning for completing tasks, it does not allow the integration of changes and uncertainties over time. The same applies to the approach developed by Beauregard (2010). Here too, the model is intended for an upstream and non-dynamic allocation of resources, which does not adapt to the constraints and uncertainties of operations. Another point with those models is the fact that they are developed for only one function each time. Eickemeyer et al. (2014) are developed a model for repair projects (MRO) environment while Beauregard (2010) focused on a product development project environment.

Scheduling under uncertainty. Uncertainty refers to doubts about the validity of events or lack of solid knowledge about a situation. Among the works that deal with uncertainty in scheduling, we have focused on three works, The first one is Chaari, Chaabane, Aissani, et Trentcsaux (2014), the second is Drummond, Bresina, et Swanson (1994) and the third is Babiceanu et Seker (2016).

Chaari et al. (2014) synthesized scheduling approaches under uncertainty. They produced a new classification of the approaches developed, based on the new performance criteria described in terms of reactivity, adaptability and robustness. That classification includes four categories that are showed below in Exhibit 3.

Exhibit 3. Classification of under uncertainty scheduling approaches. Adapted from Chaari et al. (2014).

Approaches	Specifications	Sub approaches
proactive approaches	Also called robust approaches, they integrate potential disruptions during the initial scheduling. They try to anticipate as much as possible on the uncertainties through a great flexibility of the schedule	<ul style="list-style-type: none"> • Robustness measures • Redundancy based techniques • Contingent scheduling • Techniques based on optimization
reactive approaches	They are generally used in highly disturbed environments where uncertainty is very high. Decision-making must be very quick, intuitive, easy to implement by decision makers	<ul style="list-style-type: none"> • Distributed approaches • Centralized approaches • Priority rules • Dynamic choice of priority
predictive-reactive hybrid approaches	They bear the risk. They are built in two phases. The first consists of a deterministic initial schedule where events are assumed to be predictable. The second phase consists to control the execution of the realized schedule. It also adapts in real time the initial schedule by integrating disturbances	<ul style="list-style-type: none"> • When to reschedule • How to reschedule <ul style="list-style-type: none"> - Right shift rescheduling - Total rescheduling - Multi-objective rescheduling - Match-up rescheduling
proactive-reactive hybrid approaches	They allow building a static planning network in which it is possible to move from one schedule to another according to the risk. Unlike predictive-reactive hybrid approaches, they do not allow the initial schedule network to be adapted in real time	<ul style="list-style-type: none"> • Off-line phase <ul style="list-style-type: none"> - Static algorithm - Genetic algorithm • Real-time phase <ul style="list-style-type: none"> - Actions to allow new operations - Reactive schedule - Decision-maker alternative choice

Drummond et al. (1994) on their side, developed a scheduling approach called Just-in-case and which fall under the category of contingent scheduling in the classification made by Chaari et al. (2014). They applied this approach to a telescope observations planning problem with uncertainties on the observation time duration. Just-in-case approach is based on an iterative algorithm that integrates both deterministic and stochastic aspect. At each iteration, the approach determines the most probable break point in the schedule and corrects it by introducing contingent actions. Thus, by executing the algorithm several times, a significant number of probable break points are identified and corrected. This lead to an increase of the successfully completing probability of the revised schedule without breaking over the planning horizon. Drummond et al. (1994) have shown that for an initial schedule with a probability of 0.4 to have a break point at 14% way of the planning horizon, it is possible by running the just-in-case model once, to delay the probable rupture to 25% of the planning horizon.

Concerning Babiceanu et Seker (2016), they were interested in the use of big data and the connectivity of objects in the manufacturing process. The principle is to make the manufacturing system autonomous in its management through a strong connectivity of all the elements that constitute it. This is how sensors, the internet, customers and demand, material and human resources can communicate with each other through a network. Disturbances that would occur during the execution phase will be automatically taken into account and the system will automatically adapt. Babiceanu et Seker (2016) provide a state of the art in this area before dwelling on the disadvantages associated with this practice. One of the major disadvantages is the cyber-attack which could destabilize the whole control and planning system.

Research axes in dynamic management of finite capabilities in manufacturing systems. The work presented above gives rise to some reservations which could serve as research topics for continuous improvement. Kurz (2016) proposes a model that determines the resource capacities of each substation in the manufacturing system. The model is static and does not allow for operational changes to be integrated into planning. Capacities is fixed and determined while designing the service workshop, on a probability laws basis. Thus, the particularities and constraints of each project are not taken into account. The workshop is designed to meet project resource requirements. Another point is the obtained solution at the end that is an approximate solution. It would be interesting to continue the resolution by joining the discrete event simulation with experimental plans and sensitivity analysis.

Premaratne and Senevi (2012) propose a model that is part of the project's dynamics and which reconciles all aspects of the project (material and human resources, time to completion, task scheduling). However, this model has no cost dimension. Also, risk management is not considered. In addition, the development of this model for equipment that counts a very large number of parts can be very tedious and difficult to handle. Risk levels (financial or technical) could be established to guide the choice of investing in the stock of spare parts (a certain level of inventory according to the risk assessed). For example, at the end of inspection tasks, the need for a critical replacement part (by the necessary delivery time or the difficulty of having it) could be filled by a reserve stock in anticipation of the risk induced by the lack of that part.

At the point of resource allocation optimization, a major contribution could be the development of an approach focusing not only on a mono-environment of repair ((Eickemeyer et al., 2014) or product development (Beauregard, 2010) but by considering a joint production, repair (MRO) and product development environment. Also, the model previously developed could be more efficient by integrating a dynamic component into them. Thereafter an updating mechanism will be added to the model in order to be able to integrate changes emerging during execution phase. Also, the risk that is not taken into account in the approaches shown above will be considered through the definition of the elements involved in the realization of tasks and simulation (Levârdy and Browning, 2009). The risk associated with a task will be taken into three components (security, technical and financial) and will depend, for example, on the dependency to third party resources, the level of technicality, the size of the task (volume, time duration), the impact on the rest of the project, etc. Another aspect to consider is the integration of different resources states in the allocation process. Thus, in the end, we would find out a new model of capacity planning which allows the theoretical planning of resources (planning upstream of operations, initial planning) taking into account the risk associated with each task and which then automatically allow to update the initial planning of resource allocation by taking into account the actual advancement of different projects and resources states.

Discussion and Conclusion

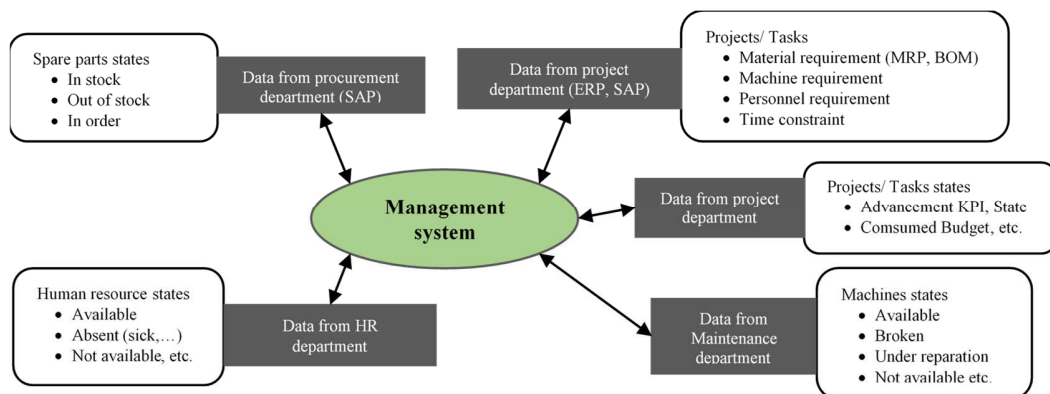
This paper reviews a set of work related to the optimization of decision-making in an uncertain and dynamic environment of production, repair of goods and products development. Main terms related to the subject are presented with their impact, their importance and the way that they can bring out added valued to decision-making optimization problems in such manufacturing environment. Those terms are: performance measurement systems, product development, management of finite and variable capacities in a dynamic system (coupled with MRO projects: maintenance, repair, overhaul), resource allocation and under uncertainty scheduling. For each of these, several research axes related to decision-making optimization were presented.

Decision-making is a big deal in manufacturing system management. A lot of effort has been deployed on that by researchers. Most often, they treat the problem not as a whole. That is why you would see specific

approaches developed for resource management, uncertainty planning, capacity management, product development, etc. These do not work all the time or are not efficient since all those problems are related. Also, more the variability will exist in a company, more a unique integrated model will be efficient. This is particularly true in the context of conjointly used manufacturing systems for production, repair, of goods and product development. Here, traditional approaches would not help regarding the level of uncertainty that exists and the high level of variability in operations. New approaches with a high level of agility, flexibility, robustness and adaptability are needed. The development of integrative solutions that deal simultaneously with all the elements of the manufacturing system should be privileged. Thus, resource management, uncertainty planning, capacity management, product development models must be integrated into a single model. This is the aim of the future work which will be carried out as a result of this paper.

The goal would be to develop a decision-making model adapted to the complexity of an uncertain and dynamic manufacturing system of conjoint production, repair of goods and product development for a global manufacturer of industrial turbines for energy markets. The major challenges lie in the development and the integration of methods, processes and business planning tools to integrate uncertainty surrounding its manufacturing operations in a reactive schedule (Chaari et al., 2014), based on the information provided by multi-agent systems (Barbosa, Leitão, Adam, & Trentesaux, 2015), initially allowing to exploit its dynamic aspect in order to obtain at each future period an expected optimal allocation of resources (Beauregard, 2010). Real-time information will be required to take into account changes in the material aspects managed in the ERP system. The use of industry 4.0 concept would be then a significant support in this approach. Exhibit 4 below illustrates industry 4.0 concepts.

Exhibit 4. Industry 4.0 service integration model illustration.



Indeed, as predicted by industry 4.0 concepts, connectivity of system objects will be at the centre of the model. The system elements will have to exchange information continuously and the mathematical optimization model in the background will be able in real time to react to perturbations and random events (reactive scheduling approach) (Chaari et al., 2014). The model will ultimately optimize the use of company resources by integrating in real time their state (availability of machines, failure status, absence, delay or unavailability of staff, etc.). It will also allow the tasks scheduling on the installations dedicated to the three services. The control will be automatic and will ensure that the economic and service quality objectives are met (deadlines, costs incurred etc.).

References

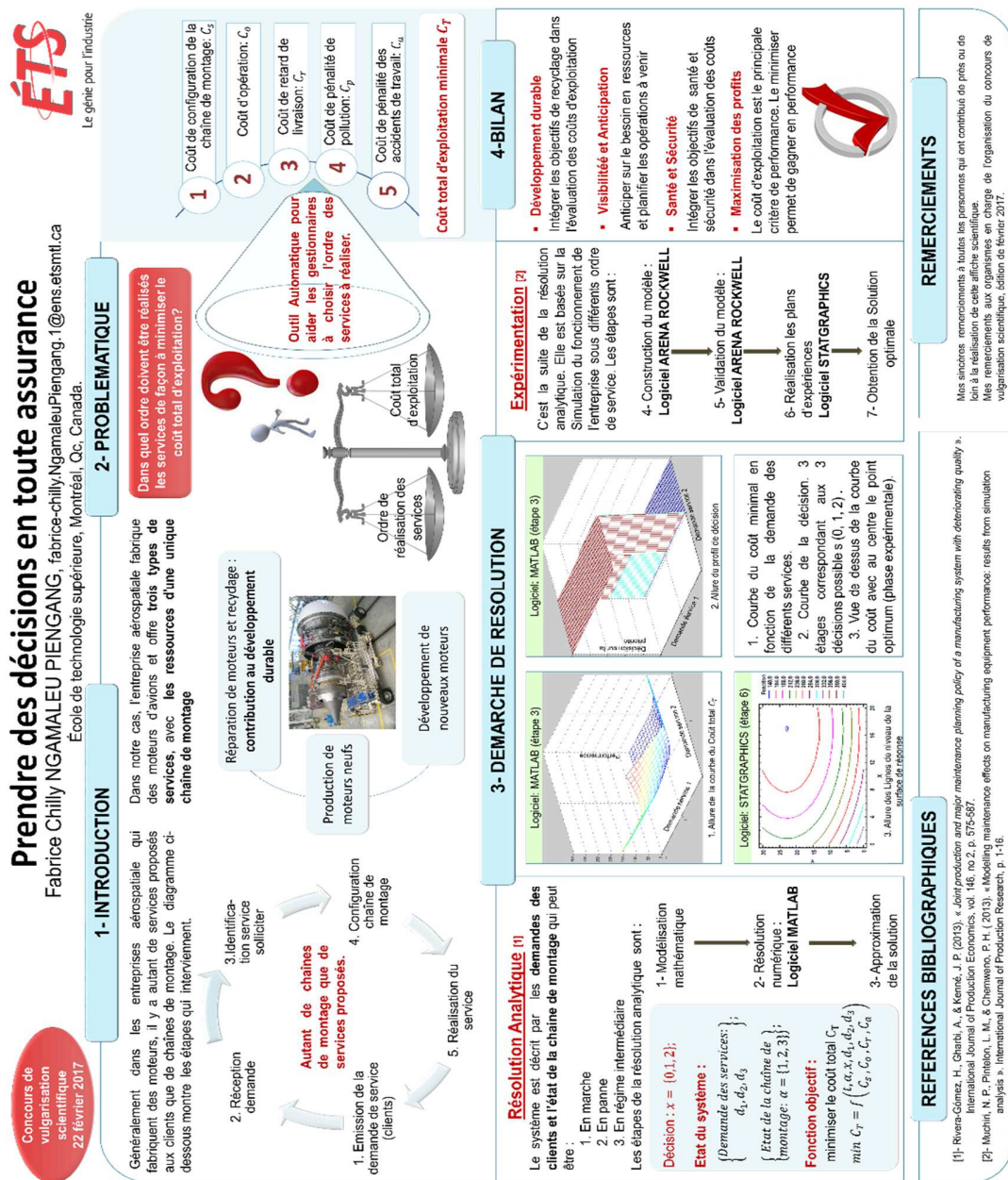
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128-137. doi:10.1016/j.compind.2016.02.004
- Barbosa, J., Leitão, P., Adam, E., & Trentesaux, D. (2015). Dynamic self-organization in holonic multi-agent manufacturing systems: The ADACOR evolution. *Computers in Industry*, 66, 99-111.

- Beauregard, Y., Polotski, V., Bhuiyan, N., & Thomson, V. (2017). Optimal utilisation level for lean product development in a multitasking context. *International Journal of Production Research*, 55 (3), 795-818.
- Beauregard, Y. (2010). *A multi-criteria performance study of lean engineering*. Ph.D., Concordia University, (Canada).
- Benita, M. B. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (3), 275-292. doi:10.1108/01443579910249714
- Chaari, T., Chaabane, S., Aissani, N., & Trentcsaux, D. (2014). *Scheduling under uncertainty: Survey and research directions*. Paper presented at the 2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2014, May 1, 2014 - May 3, 2014, Hammamet, Tunisia.
- David, R., & Christian, T. (1999). Aide à la décision multicritères pour l'évaluation de performance. *Journal of Decision Systems*, 8 (3), 339-365. doi:10.1080/12460125.1999.10511765
- Drummond, M., Bresina, J., & Swanson, K. (1994). *Just-in-case scheduling*. Paper presented at the Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence. Part 1 (of 2), July 31, 1994 - August 4, 1994, Seattle, WA, USA.
- Eickemeyer, S. C., Herde, F., Irudayaraj, P., & Nyhuis, P. (2014). Decision models for capacity planning in a regeneration environment. *International Journal of Production Research*, 1-20.
- Harold, K. (2013). *How the Seven Deadly Sins can Lead to Project Failure*. Revista de Gestão e Projetos, 3 (3), 05-27. doi:10.5585/gep.v3i3.129
- Jaifer, R. & Beauregard, Y. 2016. *Revue de littérature sur la gestion des performances en développement de produits - cas de l'industrie aéronautique*. MOSIM2016. Montréal, Canada.
- Karniel, A., & Reich, Y. (2007). *Managing dynamic new product development processes*. Paper presented at the 17th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2007, June 24, 2007 - June 28, 2007, San Diego, CA, United states.
- Kenné, J.-P., Dejax, P., & Gharbi, A. (2010). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.026
- Kurz, J. (2016). Capacity planning for a maintenance service provider with advanced information. *European Journal of Operational Research*, 251 (2), 466-477. doi:10.1016/j.ejor.2015.11.029
- Levardy, V., & Browning, T. R. (2009). An adaptive process model to support product development project management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 56 (4), 600-620.
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). *Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion*. International Journal of Production Research, 46 (13), 3517-3535. doi:10.1080/00207540601142645
- Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H., & Chemweno, P. (2013). Modelling maintenance effects on manufacturing equipment performance: results from simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 1-16. doi:10.1080/00207543.2013.870673
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (4), 80-116.
- Premaratne, S., & Senevi, K. (2012). Aircraft maintenance planning and scheduling: an integrated framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18 (4), 432-453. doi:10.1108/13552511211281598
- Rivera-Gómez, H., Gharbi, A., & Kenné, J. P. (2013). Joint production and major maintenance planning policy of a manufacturing system with deteriorating quality. *International Journal of Production Economics*, 146 (2), 575-587. doi:10.1016/j.ijpe.2013.08.006
- Stephan, H., Gschwind, T., & Minner, S. (2010). Manufacturing capacity planning and the value of multi-stage stochastic programming under Markovian demand. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22 (3), 143-162. doi:10.1007/s10696-010-9071-2
- Woxvold, E. R. A. (1992). *Extending MRP II hierarchical structures to PERT/CPM networks*. Paper presented at the Proceedings of the APICS 35th International Conference and Exhibition, October 18, 1992 - October 23, 1992, Montreal, Quebec, Canada.
- Wu, C.-H., & Chuang, Y.-T. (2012). An efficient algorithm for stochastic capacity portfolio planning problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (6), 2161-2170. doi:10.1007/s10845-011-0562-0

Zilli, A., Kurz, J., et al. (2015). *Business Modelling*. Technical Report, PRAC-TICE: Privacy Preserving Computation in the Cloud.


ANNEXE III

AFFICHE DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE PRÉSENTÉE AU CONCOURS DE VULGARISATION PAR AFFICHE DE L'ÉTS, FÉVRIER 2017. « PRENDRE DES DÉCISIONS EN TOUTE ASSURANCE »



ANNEXE IV

QUESTIONNAIRE POUR LE SONDAGE DE CAPTURE DES BESOINS DE L'EP

Implantation future d'un système de planification	 Le génie pour l'industrie
Service :	
Code du répondant	
1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.	
2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?	
3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :	
<i>- Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)</i>	
<i>- Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)</i>	
4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.	
5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire	
6 - Autres informations	

ANNEXE V

RÉSULTATS DU SONDAGE POUR LA CAPTURE DES BESOINS DE L'EP

Implantation future d'un système de planification



Service : Service des réparations

Répondant : 1

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

Currently, the Load planning team receive on a monthly basis input (Tracker) from Aftermarket Services that includes all the incoming engines coming back for R&O or repair with a brief description. Based on the description and with the help of the R&O PM, we create an engine streamer based on previous similar engine overhauled / repair or from the template for standard work scope and modify it if required. This is then used for load planning purposes until a more defined workscope is available from the Aftermarket services. On the final workscope is available for a specific engine (TRC issued), a pre induction meeting is called to update the prelim streamer to produce the baseline of the project prior induction of the engine. In between the creation of the prelim streamer and the final baseline project plan (TRC issued), there are back and forth between R&O PM and Aftermarket Business on various scenarios. This is usually tackle by the R&O PM Team in consultation with Tech Rep. We usually leave Load Planning out of this process since those are just scenarios to help with the final workscope.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- It is quite common to have to shuffle the current plan due to engine failing at site and need to be repair as soon as possible or scope creep of project in WIP due to findings during strip activities. Tool need to be able to handle the various scenarios and provide impact analysis on other project quite easily without affecting current work planned until a decision is made.
- Current planning tool does not have any feedback from the shop floor live in order to have the actual progress of the project on a daily basis.
- Actual hours booked to a specific task is not link to the tool, hence make it quite hard to monitor actuals v/s planned hours for a specific task – required link to booking and SAP if possible.
- Currently, MS project does not allow the use of SPI and CPI in order to monitor the project progress and cost
- In R&O, we sometimes plan the worst case scenario. This is usually confirmed once we pass a certain point in the project (or when the assembly at risk is exposed). However, since people tends to use the worst case as the target and think they have buffer where it is not the case. And then, when we need to perform the worst case, the hours or deadline is already up.

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*
Address the shortfall as described in the section #2
- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*
Be the Go-To Tool to understand a project status – available on in a shared folder but with restricted access depending on job function. Used in most of the meetings concerning the project but in different views depending on the audience and user skill for input

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

- More accurate status of the project and issues escalated on time
- Better management of our limited resource
- More control of hours absorbed and highlight any abnormalities in booking
- Alignment of project plan and WIC (Work Instruction Card)
- Quick realignment of project tasks based on revised priorities

6 - Autres informations

Implantation future d'un système de planification



Service : Service de l'amélioration continue

Répondant 2

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- La planification stratégique à long terme (1 an et plus) de la capacité de l'usine versus la demande (takt time) est manuelle, donc les entrées de données ne sont pas synchronisées avec les autres systèmes.
- Les bookings actuels ne sont pas copiés dans les cédules MS project
- Aucune procédure ne couvre la planification des opérations (court ou long terme)
- La cartographie de chaîne de valeur (VSM) est faite manuellement dans Visio sans connections avec les autres systèmes (probablement hors des requis du projet)
- Les ordinateurs des planificateurs ne sont pas assez rapides pour gérer un plan avec plus de 20 moteurs.
- Le manque de capacité sur les outils critiques n'est pas visible actuellement dans le plan
- L'analyse de la capacité des compétences n'est pas regardée au niveau de la planification à long ou moyen terme

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*
 - Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)
 - Pourvoir gérer de 20 à 50 moteurs en même temps avec plusieurs sous-opérations ajoutées pour des plans plus détaillés
- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*
 - être en mesure d'identifier les goulots d'étranglement dans l'usine au niveau des contraintes de ressources, espace physique (limite de WIP), outils critiques, compétences
 - identification du chemin critique dans les plans

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

- l'outil devrait pouvoir prendre ces données de booking actuels de SAP et mettre-à-jour les plans automatiquement.
- rapport de CPI et SPI en R&O

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

- Réduction des efforts des planificateurs (moins d'étape manuelles), meilleure coordination des opérations

6 - Autres informations

Implantation future d'un système de planification



Service : Service des réparations

Répondant 3

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

I feel like a general lack of process (including the methods but also the right tools) in many steps of the projects live starting with the long term planning but also during the execution and report of plan adherence as well as plan changes.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- a) Capacity:
 - Mostly based on labor. Other constraints don't look to be well defined or systematically considered (eg: Tooling, space, competency).
- b) Plan execution and report:
 - Current method and tools are very manual and relies on people judgement and expertise which is not enough due the volume and complexity of the interrelations of the activities to be executed on daily basis.
 - Doesn't properly track projects base lines and progress which then make it unable to identify deviations to base line in a convenient timing.
- c) Plan changes: Process not fully defined or not systematically used.

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*
 - Base line recording.
 - Timely (in daily basis as much as possible) progress report to base line (eg : Finish date, CPI and SPI).
 - Provide visibility on capacity utilisation (for all relevant constraints).
 - Standard work scopes templates must be accurate and properly maintained
- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*
 - Easy update and reading.
 - Aligned with users skills (training to increase or provide new skills should be considered as required).
 - Satisfy different information needs based on user groups.
 - Included in related official processes (eg: planning, monitoring and control, etc).
 - Integrated / centralized: As much as possible a single platform with enough flexibility to satisfy different users group but it should avoid duplication and minimize interfaces with other platforms to the minimum required (eg: projects details plans (streamers) and projects reports and other planning documents withing the same platform(eg: Induction plan, load planning output, progress report, etc).

4 - Comment entrevoez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

The details are to be defined but the tools should be fully aligned with the selected processes for planning and control of the operations. Therefore the initial step to define the tool should be to review the related processes.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

- An appropriated tool should:
- Increase plans accuracy (having accurate work package templates and more complete and accurate visibility of constraints actualisation).
 - Provide visibility of base lines and projects performance to base line.
 - Provide visibility of the right information depending on users needs.

This will allow to:

- Improve adherence to plan and on time delivery.
- Improve labor absorption.
- Improve / optimize short and long term management of other constraints (eg: tooling, space, etc).

6 - Autres informations

It is key for whatever tool is designed or chosen to be applied as an integral part of planning and monitoring and control processes. A tool on its own won't make a big change, company's processes and culture should be considered to ensure a successful implementation.

Implantation future d'un système de planification



Service : Service de l'amélioration continue

Répondant 4

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- Toutes les ressources ne sont pas planifiées (ex les outils)
- Nous devons utiliser différents outils pour rapporter ou manipuler l'information. Il n'y a pas d'outil qui intègre tous les besoins.
- Manque de visibilité des ressources disponibles (pièces, outils et personnels)

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*

Doit pouvoir communiquer et échanger des informations avec les autres systèmes (ex. ERP, time booking).

- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*

Consolide l'information (Outils, Compétences, disponibilité des pièces et des outils, espace de plancher disponible).

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

Il faudra avoir un processus clair et des templates bien établis. La configuration devra être bien planifiée.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

Meilleure communication entre le plancher, les contrôleurs et les « schedulers »

6 - Autres informations

Implantation future d'un système de planification



Le génie pour l'industrie

Service : Service de la planification

Répondant 5

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

Right now the Service team interactions with planning is done mostly verbally in meetings and once a month I receive a list of new service engines by email.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

Right now there are too many manual functions (high risk for errors). We are not able to work with 1 planning system that gives you a good visual of all constraints and critical dates for all engines.

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*

A better planning system will help us eliminate manual errors, reduce the manual labor involved in our planning process

- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*

A better planning system will help us view a much better picture of our plan and it will lead us to make better decisions. At the end it will lead to a better and more effective plan and schedule. It will also help us improve communication with all other departments.

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

This new planning tool should improve all aspects of the planning functions. MS Project is a weak planning system and it is not very reliable for this kind of business and from what I saw in the high level presentation for Preactor, I believe we can benefit but I need to see more of the software. Collection of the daily data is something that is very critical and this needs to be addressed.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

Right now there are a lot of manual entries in both the plant and with the planners. Eliminating these manual entries on paper by the lead hands and focusing more on the planning system, people will become more reliable with the new planning system and will use it to their benefits. For example, to be able to view any shortages and be able to see what the other shifts have done. It will greatly improve communication between the plant and the planners.

6 - Autres informations

A good planning software will improve communications, reduce Divergent hours and become more efficient all around.

Implantation future d'un système de planification



Le génie pour l'industrie

Service : Service de la planification

Répondant 6

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

The current process is very manually intensive. Data is frequently transferred between applications which means that the process is both time consuming and error prone.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

Right now there are too many manual functions (high risk for errors). We are not able to work with 1 planning system that gives you a good visual of all constraints and critical dates for all engines.

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)

It is important to have an integrated system.

The system should be able to understand our key constraints through the build and supply chain

The system should be able to provide suggestions for mitigation of issues, i.e. suggest a revised plan.

The system should be able to track completion of activity and suggest changes to the plan based on this information

The system should be able to report KPI data (ESV, Absorption) + a breakdown of that data.

The system should have the capability to run scenarios in a nonexecutive environment.

Status of activities should come directly from a shop floor data collection solution.

System should have the capability to issue alerts to users on a context basis, i.e. build stopped.

- Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)

By being integrated the system should be much easier to operate

The system should be error resistant, i.e. minimal time spent manually updating for booking errors etc.

Data extracted from the system must be robust.

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

All of the above.

By having an integrated tool the ability to run reports without cutting data from one format to another should be very much enhanced.

Improved data, collected directly from the system, fewer concerns about accuracy.

Improved communication of daily task requirements as it is system generated,

Fewer questions/clarifications on required activity to support plan.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

Improved communication,

Improved forecasting,

Improved delivery to commitment,

Improved labour absorption

6 - Autres informations

Implantation future d'un système de planification



Service : Service des réparations

Répondant 7

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

Planning aide R&O avec ceci :

- Planifier, quelques semaines avant l'induction d'un moteur, le scope requis de Services selon le TRC publié pour identifier les activités dans le streamer et raccorder les dates de milestones convenues avec Services. Ce plan deviendra la première ligne de base du projet.
- Planifier, avec le scope préliminaire convenu avec Services, les projets pour les prochains mois et pour l'année selon les contraintes de la shop.
- Réviser les streamer à chaque fois que le scope change ou prend de l'expansion en essayant de maintenir les dates commises à Services le plus possible.
- Planifier des streamer pour des situations à risques dans un projet pour pouvoir comprendre l'impact de ces risques en prendre des décisions à l'interne ou avec Services.
- Indiquer à l'avance à R&O si les projets sont en retard en l'impact de ces retards.
- Refléter les pourcentages exacts de l'achèvement des tâches selon le streamer et d'identifier les écarts et les conflits dans la cédule.

R&O aide Planning avec ceci :

- Identifier les projets requis de Services avec le scope préliminaire pour les prochains mois ou l'année et les scopes officiels décidés avec Services et publiés dans les TRCs. Ceci aide Planning à déterminer les plans pour l'année et pour chaque projet.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- Les streamer ne reflètent pas toutes les tâches du scope ni les heures exactes requises pour ces tâches.
- Les descriptions de tâches dans le streamer ne décrivent pas adéquatement ce que la tâche inclut.
- Les contraintes de personnels (disponibilités durant l'année ET niveau de compétence), d'outils, d'espaces disponibles dans la shop, du turnaround time de RR et des autres vendeurs ne sont pas prises en compte ou sont prises en compte de façon inadéquate. Ces contraintes ne sont pas visibles du tout dans MS Projet et sont considérées manuellement et jouant avec les dates.
- Les étapes dans les streamers de projets changent de dates parfois sans avertissements aux équipes concernées.
- On ne capture pas adéquatement le pourcentage d'achèvement de tâches selon ce qui se passe dans la shop. Les changements aux tâches, selon la réalité de ce qui se produit dans la shop, n'est pas révisé ou corrigé dans les streamer.

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*

- Réfléter toutes les tâches des projets avec les descriptions et les heures adéquates requises selon les contraintes de personnels (disponibilités durant l'année ET niveau de compétence), d'outils, d'espaces disponibles dans la shop, du turnaround time de RR et des autres vendeurs.
- Réfléter, au début et en fin de journée, le statut de l'achèvement des tâches de chaque projet et comprendre où on est rendu et où des risques existent.

- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*

- Facile d'usage, clair, montrent toutes les contraintes pour comprendre leurs effets sur les projets.

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

Tout le monde doit être confortable avec l'utilisation et la compréhension du fonctionnement de l'outil. Il se peut que seulement planning et opérations peuvent ajouter/modifier des données pour limiter les changements dans l'outil. Il doit être possible de suivre les modifications ajoutées dans l'outil et savoir qui les a entrées ou approuvées et quand. Les lignes de bases de tous les projets doivent être verrouillées une fois approuvées pour pouvoir comparer les résultats de notre performance à la fin.

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.

Cet outil deviendra la bible pour nos projets ou on peut avoir un aperçu de haut niveau ou très détaillé.

6 - Autres informations

Implantation future d'un système de planification



Service : Service de la planification

Répondant 8

1 - Décrire comment fonctionne brièvement le service R&O et ses interactions avec la planification.

2 - Quels sont d'après vous les manquements et les limites du processus de planification actuel?

- La planification stratégie à long terme (1 an et plus) de la capacité de l'usine versus la demande (takt time) est manuelle, donc les entrées de données ne sont pas synchronisées avec les autres systèmes.
- Les bookings actuels ne sont pas copiés dans les cédules MS project
- Aucune procédure ne couvre la planification des opérations (court ou long terme)
- La cartographie de chaîne de valeur (VSM) est faite manuellement dans Visio sans connections avec les autres systèmes (probablement hors des requis du projet)
- Les ordinateurs des planificateurs ne sont pas assez rapides pour gérer un plan avec plus de 20 moteurs.
- Le manque de capacité sur les outils critiques n'est pas visible actuellement dans le plan
- L'analyse de la capacité des compétences n'est pas regardée au niveau de la planification à long ou moyen terme

3 - Quelles sont vos attentes par rapport à un système qui serait installé pour améliorer la situation actuelle :

- *Sur le plan technique (performance, que doit-il pouvoir faire, etc.)*
 - Pouvoir gérer de 20 à 50 moteurs en même temps avec plusieurs sous-opérations ajoutées pour des plans plus détaillés
- *Sur le plan qualitatif (EX. Facile d'usage, etc.)*
 - Être en mesure de faire des scénarios d'analyse stratégique et de la planification de production journalière tactique
 - être en mesure d'identifier les goulots d'étranglement dans l'usine au niveau des contraintes de ressources, espace physique (limite de WIP), outils critiques, compétences
 - identification du chemin critique dans les plans

4 - Comment entrevoyez-vous le fonctionnement ou le déploiement du système : Collecte des données, traitement, quels rapports fournir, etc.

- l'outil devrait pouvoir prendre ces données de booking actuels de SAP et mettre-à-jour les plans automatiquement.
- rapport de CPI et SPI en R&O

5 - Supposons que le système soit installé dans le meilleur des mondes et que tout fonctionne à merveille. Comment voyez-vous la situation de l'usine et de la planification dans ce cas ? Quels bénéfices pensez-vous que l'usine en tire au quotidien? Décrivez le fonctionnement actuel.


- Réduction des efforts des planificateurs (moins d'étape manuelles), meilleure coordination des opérations

6 - Autres informations

Vision: Avoir un logiciel qui permet de niveler et optimiser les plans de production. Idéalement, ce logiciel pourrait gérer autant le court terme (les moteurs en WIP) que le long terme (moteurs planifiés être induit dans les prochains 12 mois). De cette manière, nous aurions en tout temps, et rapidement, des plans réalisables et des dates atteignables et crédibles que nous pourrions communiquer à nos différents clients, internes et externes.


ANNEXE VI

SONDAGE SUR L'IMPORTANCE DES BESOINS DE L'EP

Relevance of the company needs			
Service :		 Le génie pour l'industrie	
Code of the respondent			
How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale: <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: left;"> 1 = Very low (VL) 3 = Low (L) 5 = Medium (M) </div> <div style="text-align: right;"> 7 = High (H) 9 = Very high (VH) </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years		
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies		
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor		
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling		
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time		
WHAT ₆	Control the level of WIP		
WHAT ₇	Levels capacity and workload		
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule		
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project		
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor		
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress		
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system		
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)		
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)		
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)		
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects		
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required		
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)		
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options		
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options		
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop		
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format		
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics		
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)		
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart		
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project		
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress		
WHAT ₂₈	Track shortages		
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks		
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints		
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions		

ANNEXE VII

RÉSULTAT SONDAGE SUR L'IMPORTANCE DES BESOINS DE L'EP

Relevance of the company needs			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="background-color: #e0e0e0; padding: 2px 5px; border: 1px solid black;">Service : Sales and operations management</div> <div style="text-align: right;">  <small>Le génie pour l'industrie</small> </div> </div>			
<div style="background-color: #e0e0e0; padding: 2px 5px; border: 1px solid black;">Decision maker 1</div>			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VL	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	M	
WHAT ₆	Control the level of WIP	M	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	M	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	M	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	M	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	M	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	VL	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	M	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	M	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	M	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	M	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

Relevance of the company needs			
Service : Repair and overhaul			
Decision maker 2			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	M	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	M	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	M	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	M	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VL	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	M	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	M	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	VL	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	VH	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	M	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	VH	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

Relevance of the company needs			
Service : Continuous improvement			
Decision maker 3			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VL	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	M	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	M	
WHAT ₆	Control the level of WIP	M	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	M	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	M	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	M	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	VH	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

Relevance of the company needs			
Service : Planning			
Decision maker 4			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	M	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	M	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	M	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	M	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	M	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	M	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VL	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VL	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	VH	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VH	
WHAT ₂₈	Track shortages	M	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Planning			
Decision maker 4			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: left;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	M	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	M	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	M	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	M	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	M	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	M	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VL	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VL	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	VH	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VH	
WHAT ₂₈	Track shortages	M	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Planning			
Decision maker 6			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VH	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VH	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	M	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VH	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	VH	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	VH	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VH	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Shop management			
Decision maker 7			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	M	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VH	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VL	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	M	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VH	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	M	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	M	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	VL	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	VL	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	M	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	M	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

Relevance of the company needs			
Service : Repair and overhaul			
Decision maker 8			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: left;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VL	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VL	
WHAT ₆	Control the level of WIP	M	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	M	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VH	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	M	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	VL	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	VH	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	VH	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VH	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

Relevance of the company needs			
Service : Supply chain			
Decision maker 9			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: left;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VH	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VH	
WHAT ₆	Control the level of WIP	M	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	M	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	M	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	M	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VH	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	M	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	M	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VH	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	VL	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	M	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	VH	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	M	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Repair and overhaul			
Decision maker 10			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VH	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VL	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VH	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	M	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	M	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	M	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VL	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	M	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	M	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	VH	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	VL	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	VL	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	M	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	VH	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	VL	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	VH	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	VH	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	VL	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VL	
WHAT ₂₈	Track shortages	VL	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	M	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Shop management			
Decision maker 11			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: left;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	VH	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	VH	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VH	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	VH	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	VH	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	VH	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VH	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	VL	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VH	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	VH	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	VH	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	M	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	M	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	M	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	VL	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	VL	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VH	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	VL	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	VH	
WHAT ₂₈	Track shortages	M	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	VH	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	VH	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	VH	

Relevance of the company needs			
Service : Supply chain			
Decision maker 12			
<p>How important is it to meet each of the needs listed below? Please select only one answer per line using the following Likert scale:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1 = Very low (VL)</p> <p>3 = Low (L)</p> <p>5 = Medium (M)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7 = High (H)</p> <p>9 = Very high (VH)</p> </div> </div>			
Items	Company needs	Relevance	Comments
WHAT ₁	Integrate operator schedules over three years	M	
WHAT ₂	Integrate constraints on operators' competencies	M	
WHAT ₃	Integrate constraints on spaces on the floor	VH	
WHAT ₄	Integrate constraints on critical tooling	VH	
WHAT ₅	Manage up to 100 engines at the same time	VL	
WHAT ₆	Control the level of WIP	VH	
WHAT ₇	Levels capacity and workload	M	
WHAT ₈	Allow "What-if" scenarios without impacting the schedule	M	
WHAT ₉	Measuring performance at the end of the project	VH	
WHAT ₁₀	Capture the actual progress of tasks on the floor	VH	
WHAT ₁₁	Adding information to a project in progress	M	
WHAT ₁₂	Connect to SAP, Excel, and to a MES system	VH	
WHAT ₁₃	Be able to operate outside networks (at home for example)	M	
WHAT ₁₄	Simple to operate (adding projects, adding information, etc.)	VL	
WHAT ₁₅	Consult the planning by levels (Engine, modules, sub-kit, resources, etc.)	M	
WHAT ₁₆	Built a database of completed projects	VL	
WHAT ₁₇	Display the critical project path as required	VH	
WHAT ₁₈	Provide KPIs (rate of absorption, use of resources, etc.)	M	
WHAT ₁₉	Reporting job conflicts and propose corrections options	M	
WHAT ₂₀	Report Constraint Violations and propose correction Options	VH	
WHAT ₂₁	Produce realistic and optimal schedules for the shop	M	
WHAT ₂₂	Allows extraction of data in text format	M	
WHAT ₂₃	Allows extraction of desired statistics	M	
WHAT ₂₄	Display capacity utilization (employee, spaces, materials)	VL	
WHAT ₂₅	Possibility to have an overview of all projects on the Gantt chart	M	
WHAT ₂₆	Possibility to isolate on the Gantt chart, a particular project	M	
WHAT ₂₇	Possibility of manually entering job progress	M	
WHAT ₂₈	Track shortages	VL	
WHAT ₂₉	View the actual and planned progress of tasks	M	
WHAT ₃₀	View Dates at risk and constraints	M	
WHAT ₃₁	Have an attractive visual appearance enabling quick decisions	M	

ANNEXE VIII

SONDAGE SUR LA COMPARAISON PAR PAIRES DES CRITÈRES

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria			
Service :		 Le génie pour l'industrie	
respondent code			
Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, .)			
Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1					
C2		1				
C3			1			
C4				1		
C5					1	
C6						1

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1						
C42		1					
C43			1				
C44				1			
C45					1		
C46						1	
C47							1

Personalizability

	C11	C12
C11	1	
C12		1

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1			
C52		1		
C53			1	
C54				1

CR 0,049

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1				
C22		1			
C23			1		
C24				1	
C25					1

Technology


	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1							
C62		1						
C63			1					
C64				1				
C65					1			
C66						1		
C67							1	
C68								1

Reliability

	C31	C32
C31	1	
C32		1

ANNEXE IX

RÉSULTAT – SONDAGE SUR LA COMPARAISON DES CRITÈRES

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria																																																																																																																												
Service : Professor - operations and logistics engineering						 Le génie pour l'industrie																																																																																																																						
Expert 1																																																																																																																												
Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, ...)																																																																																																																												
Linguistic scales		Signification			Numerical scale	To use if column is important than line																																																																																																																						
Equally important (EI)		The two criteria contribute equally to the objective			1	1																																																																																																																						
Weakly important (WI)		Judgment slightly favors one element over another			3	1/3																																																																																																																						
Strongly important (SI)		One element is strongly favors over another			5	1/5																																																																																																																						
Very strongly important (VSI)		One element very strongly favors over another			7	1/7																																																																																																																						
Absolutely important (AI)		Judgment absolutely favors one element over another			9	1/9																																																																																																																						
Intermediate values between two adjacent judgements		The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.			2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9																																																																																																																						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Main criteria</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>C4</th> <th>C5</th> <th>C6</th> </tr> <tr> <th>C1</th> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <th>C2</th> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>1/3</td> <td>5</td> <td>1/3</td> <td>1/5</td> </tr> <tr> <th>C3</th> <td>1/3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>1/3</td> <td>1/5</td> </tr> <tr> <th>C4</th> <td>1/3</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>1/3</td> <td>1/9</td> </tr> <tr> <th>C5</th> <td>1/2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1/5</td> </tr> <tr> <th>C6</th> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,094</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Vendor</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C41</th> <th>C42</th> <th>C43</th> <th>C44</th> <th>C45</th> <th>C46</th> <th>C47</th> </tr> <tr> <th>C41</th> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <th>C42</th> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>C43</th> <td>1/5</td> <td>1/5</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C44</th> <td>1/5</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1/3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C45</th> <td>1/5</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1/3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C46</th> <td>1/5</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C47</th> <td>1/7</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>1/3</td> <td>1/3</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,079</p> </div> </div>									C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	1	3	3	3	2	1/3	C2	1/3	1	1/3	5	1/3	1/5	C3	1/3	3	1	3	1/3	1/5	C4	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1/9	C5	1/2	3	3	3	1	1/5	C6	3	5	5	9	5	1		C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C41	1	3	5	5	5	5	7	C42	1/3	1	5	5	5	5	5	C43	1/5	1/5	1	3	3	3	3	C44	1/5	1/5	1/3	1	1	1/3	1	C45	1/5	1/5	1/3	1	1	1/3	3	C46	1/5	1/5	1/3	3	3	1	3	C47	1/7	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1				
	C1	C2	C3	C4	C5	C6																																																																																																																						
C1	1	3	3	3	2	1/3																																																																																																																						
C2	1/3	1	1/3	5	1/3	1/5																																																																																																																						
C3	1/3	3	1	3	1/3	1/5																																																																																																																						
C4	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1/9																																																																																																																						
C5	1/2	3	3	3	1	1/5																																																																																																																						
C6	3	5	5	9	5	1																																																																																																																						
	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47																																																																																																																					
C41	1	3	5	5	5	5	7																																																																																																																					
C42	1/3	1	5	5	5	5	5																																																																																																																					
C43	1/5	1/5	1	3	3	3	3																																																																																																																					
C44	1/5	1/5	1/3	1	1	1/3	1																																																																																																																					
C45	1/5	1/5	1/3	1	1	1/3	3																																																																																																																					
C46	1/5	1/5	1/3	3	3	1	3																																																																																																																					
C47	1/7	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1																																																																																																																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Personalizability</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C11</th> <th>C12</th> </tr> <tr> <th>C11</th> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>C12</th> <td>1/5</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,000</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Cost</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C51</th> <th>C52</th> <th>C53</th> <th>C54</th> </tr> <tr> <th>C51</th> <td>1</td> <td>1/5</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <th>C52</th> <td>5</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>C53</th> <td>5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C54</th> <td>3</td> <td>1/5</td> <td>1/3</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,074</p> </div> </div>									C11	C12	C11	1	5	C12	1/5	1		C51	C52	C53	C54	C51	1	1/5	1/5	1/3	C52	5	1	3	5	C53	5	1/3	1	3	C54	3	1/5	1/3	1																																																																																			
	C11	C12																																																																																																																										
C11	1	5																																																																																																																										
C12	1/5	1																																																																																																																										
	C51	C52	C53	C54																																																																																																																								
C51	1	1/5	1/5	1/3																																																																																																																								
C52	5	1	3	5																																																																																																																								
C53	5	1/3	1	3																																																																																																																								
C54	3	1/5	1/3	1																																																																																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Usability</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C21</th> <th>C22</th> <th>C23</th> <th>C24</th> <th>C25</th> </tr> <tr> <th>C21</th> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C22</th> <td>1/3</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1/2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>C23</th> <td>1/3</td> <td>1/4</td> <td>1</td> <td>1/7</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <th>C24</th> <td>1/2</td> <td>2</td> <td>7</td> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>C25</th> <td>1/3</td> <td>1/3</td> <td>2</td> <td>1/5</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,073</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Technology</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C61</th> <th>C62</th> <th>C63</th> <th>C64</th> <th>C65</th> <th>C66</th> <th>C67</th> <th>C68</th> </tr> <tr> <th>C61</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C62</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C63</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C64</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C65</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C66</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C67</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C68</th> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,000</p> </div> </div>									C21	C22	C23	C24	C25	C21	1	3	3	2	3	C22	1/3	1	4	1/2	3	C23	1/3	1/4	1	1/7	1/2	C24	1/2	2	7	1	5	C25	1/3	1/3	2	1/5	1		C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C61	1	1	1	1	1	1	1	1	C62	1	1	1	1	1	1	1	1	C63	1	1	1	1	1	1	1	1	C64	1	1	1	1	1	1	1	1	C65	1	1	1	1	1	1	1	1	C66	1	1	1	1	1	1	1	1	C67	1	1	1	1	1	1	1	1	C68	1	1	1	1	1	1	1	1
	C21	C22	C23	C24	C25																																																																																																																							
C21	1	3	3	2	3																																																																																																																							
C22	1/3	1	4	1/2	3																																																																																																																							
C23	1/3	1/4	1	1/7	1/2																																																																																																																							
C24	1/2	2	7	1	5																																																																																																																							
C25	1/3	1/3	2	1/5	1																																																																																																																							
	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68																																																																																																																				
C61	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C62	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C63	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C64	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C65	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C66	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C67	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
C68	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																				
<p>Reliability</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th></th> <th>C31</th> <th>C32</th> </tr> <tr> <th>C31</th> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>C32</th> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">CR 0,000</p>									C31	C32	C31	1	1	C32	1	1																																																																																																												
	C31	C32																																																																																																																										
C31	1	1																																																																																																																										
C32	1	1																																																																																																																										

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria

Service : Operations planning Professional

Expert 4



Le génie pour l'industrie

Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, ..)

Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/2	2	3	1/3	1/3
C2	2	1	1/2	3	1	1/3
C3	1/2	2	1	1	1	1/7
C4	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3
C5	3	1	1	3	1	1
C6	3	3	7	3	1	1

CR 0,086

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1	1/3	1/3	3	5	5	9
C42	3	1	3	5	5	5	9
C43	3	1/3	1	3	3	9	5
C44	1/3	1/5	1/3	1	1	1	1
C45	1/5	1/5	1/3	1	1	1	1/3
C46	1/5	1/5	1/9	1	1	1	1
C47	1/9	1/9	1/5	1	3	1	1

CR 0,089

Personalizability

	C11	C12
C11	1	1/3
C12	3	1

CR 0,000

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1	3	1/5	3
C52	1/3	1	1/3	1/3
C53	5	3	1	1
C54	1/3	3	1	1

CR 0,049

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	1	1	1	4
C22	1	1	1/3	3	5
C23	1	3	1	2	3
C24	1	1/3	1/2	1	1
C25	1/4	1/5	1/3	1	1

CR 0,065

Technology

	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1	3	1	1/5	1/7	1/3	1/7	1/3
C62	1/3	1	1	1/5	1/7	1/3	1/7	1/3
C63	1	1	1	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3
C64	5	5	5	1	1	3	1	1
C65	7	7	7	1	1	3	1	1
C66	3	3	3	1/3	1/3	1	1/3	1
C67	7	7	3	1	1	3	1	1
C68	3	3	3	1	1	1	1	1

CR 0,032

Reliability

	C31	C32
C31	1	3
C32	1/3	1

CR 0,000

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria

Service : Professor - mechanical engineering

Expert 2



Le génie pour l'industrie

Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, .)

Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/5	1/7	1/2	1/4	1/6
C2	5	1	1	5	2	1/7
C3	7	1	1	9	3	1
C4	2	1/5	1/9	1	1/5	1/5
C5	4	1/2	1/3	5	1	1/5
C6	6	7	1	5	5	1

CR 0,099

Personalizability

	C11	C12
C11	1	1/3
C12	3	1

CR 0,000

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	1	1/3	1/7	1/7
C22	1	1	1/3	1/7	1/7
C23	3	3	1	1/7	1/7
C24	7	7	7	1	1/3
C25	7	7	7	3	1

CR 0,078

Reliability

	C31	C32
C31	1	5
C32	1/5	1

CR 0,000

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1	3	1	3	3	3	3
C42	1/3	1	1/3	3	3	3	3
C43	1	3	1	5	5	5	5
C44	1/3	1/3	1/5	1	1	1	1
C45	1/3	1/3	1/5	1	1	1	1/3
C46	1/3	1/3	1/5	1	1	1	1/5
C47	1/3	1/3	1/5	1	3	5	1

CR 0,606

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1	5	4	2
C52	1/5	1	2	1
C53	1/4	1/2	1	1
C54	1/2	1	1	1

CR 0,063

Technology

	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1	1	1/3	1/3	1/7	1/5	1/9	1/9
C62	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1/7	1/7
C63	3	1	1	1/3	1/5	1/5	1/7	1/5
C64	3	3	3	1	1	1	1	1
C65	7	5	5	1	1	1	1	1
C66	5	5	5	1	1	1	1	1
C67	9	7	7	1	1	1	1	1
C68	9	7	5	1	1	1	1	1

CR 0,023

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria

Service : Professor - Industrial engineering

Expert 3



Le génie pour l'industrie

Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, ...)

Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1	1/3	3	4	1/3
C2	1	1	1	4	4	1/5
C3	3	1	1	3	3	1/2
C4	1/3	1/4	1/3	1	1/3	1/4
C5	1/4	1/4	1/3	3	1	1/3
C6	3	5	2	4	3	1

CR 0,095

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1	3	3	3	3	3	3
C42	1/3	1	3	3	3	1	1
C43	1/3	1/3	1	3	1/3	1	1
C44	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1
C45	1/3	1/3	3	1	1	1	1
C46	1/3	1	1	1	1	1	3
C47	1/3	1	1	1	1	1/3	1

CR 0,084

Personalizability

	C11	C12
C11	1	5
C12	1/5	1

CR 0,000

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1	1	1	1
C52	1	1	1	1
C53	1	1	1	1
C54	1	1	1	1

CR 0,000

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	3	1	1/3	1
C22	1/3	1	1/3	1/3	1/3
C23	1	3	1	1	1
C24	3	3	1	1	3
C25	1	3	1	1/3	1

CR 0,044

Reliability

	C31	C32
C31	1	1
C32	1	1

CR 0

Technology

	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1	1	1	1	1	1	1	1
C62	1	1	1	1	1	1	1	1
C63	1	1	1	1	1	1	1	1
C64	1	1	1	1	1	1	1	1
C65	1	1	1	1	1	1	1	1
C66	1	1	1	1	1	1	1	1
C67	1	1	1	1	1	1	1	1
C68	1	1	1	1	1	1	1	1

CR 0

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria

Service : Professor - mechanical engineering

Expert 5



Le génie pour l'industrie

Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, ..)

Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1	1/5	2	1/7	1/5
C2	1	1	1/3	3	1/5	1/5
C3	5	3	1	5	1/6	1/4
C4	1/2	1/3	1/5	1	1/6	1/4
C5	7	5	6	6	1	3
C6	5	5	4	4	1/3	1

CR 0,092

Personalizability

	C11	C12
C11	1	3
C12	1/3	1

CR 0,000

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	5	4	3	6
C22	1/5	1	1/3	1/3	4
C23	1/4	3	1	3	4
C24	1/3	3	1/3	1	3
C25	1/6	1/4	1/4	1/3	1

CR 0,098

Reliability

	C31	C32
C31	1	5
C32	1/5	1

CR 0

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1	7	2	3	3	3	1
C42	1/7	1	1/3	1/3	1/5	1	1/3
C43	1/2	3	1	3	2	2	3
C44	1/3	3	1/3	1	1/4	4	1/3
C45	1/3	5	1/2	4	1	2	2
C46	1/3	1	1/2	1/4	1/2	1	1/3
C47	1	3	1/3	3	1/2	3	1

CR 0,098

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1	1	3	1/3
C52	1	1	1/5	1
C53	1/3	5	1	1
C54	3	1	1	1

CR 0,407

Technology

	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1	1	1	1/4	1/6	1/3	1/3	1/3
C62	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1	1/3
C63	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1
C64	4	3	3	1	2	2	1/3	3
C65	6	3	3	1/2	1	3	4	2
C66	3	3	3	1/2	1/3	1	2	2
C67	3	1	3	3	1/4	1/2	1	2
C68	3	3	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1

CR 0,09

Pair-wise comparison matrices for assessment of selection criteria

Service : Professor - operations and logistics engineering

Expert 6



Le génie pour l'industrie

Instruction: This questionnaire aims to collect relative importance of all criteria by comparing them to each other. Please fill the blank space in each matrix as an assessment on how the criteria on the line is good compared to criteria on the columns. Use the likert scale provided in the table and note that in the case the column is judged more important than the criteria on the line, then the inverse value should be used (i.e 1/2, 1/3, 1/4, ...)

Linguistic scales	Signification	Numerical scale	To use if column is important than line
Equally important (EI)	The two criteria contribute equally to the objective	1	1
Weakly important (WI)	Judgment slightly favors one element over another	3	1/3
Strongly important (SI)	One element is strongly favors over another	5	1/5
Very strongly important (VSI)	One element very strongly favors over another	7	1/7
Absolutely important (AI)	Judgment absolutely favors one element over another	9	1/9
Intermediate values between two adjacent judgements	The evidence favoring one factor over another is of the highest possible order of affirmation.	2,4,6,8	1/2, 1/4, 1/6, 1/9

Main criteria

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	1/4	1/5	1/5	1/7	1/9
C2	4	1	3	5	2	1/5
C3	5	1/3	1	3	1/3	1/6
C4	5	1/5	1/3	1	1/4	1/7
C5	7	1/2	3	4	1	1/3
C6	9	5	6	7	3	1

CR 0,099

Vendor

	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47
C41	1	3	6	8	4	3	1/3
C42	1/3	1	3	4	1/2	3	1/5
C43	1/6	1/3	1	1	1/7	1/5	1/7
C44	1/8	1/4	1	1	1/5	1/7	1/9
C45	1/4	2	7	5	1	3	1/5
C46	1/3	1/3	5	7	1/3	1	1/3
C47	3	5	7	9	5	3	1

CR 0,093

Personalizability

	C11	C12
C11	1	1
C12	1	1

CR 0,000

Cost

	C51	C52	C53	C54
C51	1	5	1/5	1
C52	1/5	1	3	3
C53	5	1/3	1	3
C54	1	1/3	1/3	1

CR 0,816

Usability

	C21	C22	C23	C24	C25
C21	1	9	1	4	7
C22	1/9	1	1/9	1/9	1/2
C23	1	9	1	6	9
C24	1/4	9	1/6	1	6
C25	1/7	2	1/9	1/6	1

CR 0,089

Technology

	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68
C61	1	1/2	1/4	1/3	1	1/2	3	3
C62	2	1	1	1/3	3	4	4	3
C63	4	1	1	1	4	4	5	3
C64	3	3	1	1	3	3	2	1
C65	1	1/3	1/4	1/3	1	1	3	1
C66	2	1/4	1/4	1/3	1	1	4	3
C67	1/3	1/4	1/5	1/2	1/3	1/4	1	1
C68	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1

CR 0,093

Reliability

	C31	C32
C31	1	1/3
C32	3	1

CR 0

ANNEXE X

MODÈLE DE LA FICHE D'ÉVALUATION DES LOGICIELS AVEC LES POIDS

Template for evaluation of APS software (alternatives)																																																																																																																																																																																																				
<p>1- Customizable fields (C11)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 0% - 10% of customizability fields</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 10% - 30% of customizability fields</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 30% - 50% of customizability fields</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Above 50% of customizability fields</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>2- Customizable reports (C12)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>3- User interface (C21)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>4- User types (C22)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Suitable for beginners users</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Suitable for intermediate users</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Suitable for advanced users</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Adaptable to each user types</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>5- Data visualization (C23)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>6- Error reporting (C24)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>7- Ease of use (C25)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Between 0% - 10% of customizability fields	1	<input type="checkbox"/>	Between 10% - 30% of customizability fields	3	<input type="checkbox"/>	Between 30% - 50% of customizability fields	7	<input type="checkbox"/>	Above 50% of customizability fields	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Suitable for beginners users	1	<input type="checkbox"/>	Suitable for intermediate users	3	<input type="checkbox"/>	Suitable for advanced users	7	<input type="checkbox"/>	Adaptable to each user types	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<p>8- Robustness (C31)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>9- Backup and recovery (C32)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>10- Training (C41)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>11- Maintenance and upgrading (C42)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Good</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>12- Consultancy (C43)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 5 vendors partners</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 5 - 15 vendors partners</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 15 - 20 vendors partners</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Above 20 vendors partners</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>13- Vendor popularity (C44) - companies use the APS in the world institutions, schools, universities</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 25 companies</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 25 - 70 companies</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 70 - 100 companies</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Above 100 companies</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table> <p>14- Past business experience (C45)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 5 years</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 5 - 10 years</td><td style="text-align: right;">3</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Between 10 - 20 years</td><td style="text-align: right;">7</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Above 20 years</td><td style="text-align: right;">9</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Very poor	1	<input type="checkbox"/>	Poor	3	<input type="checkbox"/>	Fair	5	<input type="checkbox"/>	Good	7	<input type="checkbox"/>	Very good	9	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 vendors partners	1	<input type="checkbox"/>	Between 5 - 15 vendors partners	3	<input type="checkbox"/>	Between 15 - 20 vendors partners	7	<input type="checkbox"/>	Above 20 vendors partners	9	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 25 companies	1	<input type="checkbox"/>	Between 25 - 70 companies	3	<input type="checkbox"/>	Between 70 - 100 companies	7	<input type="checkbox"/>	Above 100 companies	9	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 years	1	<input type="checkbox"/>	Between 5 - 10 years	3	<input type="checkbox"/>	Between 10 - 20 years	7	<input type="checkbox"/>	Above 20 years	9
<input type="checkbox"/>	Between 0% - 10% of customizability fields	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 10% - 30% of customizability fields	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 30% - 50% of customizability fields	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Above 50% of customizability fields	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Suitable for beginners users	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Suitable for intermediate users	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Suitable for advanced users	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Adaptable to each user types	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very poor	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Poor	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Fair	5																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Good	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Very good	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 vendors partners	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 5 - 15 vendors partners	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 15 - 20 vendors partners	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Above 20 vendors partners	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 25 companies	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 25 - 70 companies	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 70 - 100 companies	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Above 100 companies	9																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 years	1																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 5 - 10 years	3																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Between 10 - 20 years	7																																																																																																																																																																																																		
<input type="checkbox"/>	Above 20 years	9																																																																																																																																																																																																		

15- References (C46)

<input type="checkbox"/>	Major company	9
<input type="checkbox"/>	Intermediate company	5
<input type="checkbox"/>	Minor company	1

16- Length of experience (C47)

<input type="checkbox"/>	Between 0 year - 5 years	1
<input type="checkbox"/>	Between 5 years - 15 years	3
<input type="checkbox"/>	Between 15 years - 20 years	7
<input type="checkbox"/>	Above 20 years	9

17- License cost (C51)

<input type="checkbox"/>	Between \$0 - \$30 000	9
<input type="checkbox"/>	Between \$30 000 - \$60 000	7
<input type="checkbox"/>	Between \$60 000 - \$90 000	3
<input type="checkbox"/>	Above \$90 000	1

18- Training cost (C52)

<input type="checkbox"/>	Between \$0 - \$1 000/Person	9
<input type="checkbox"/>	Between \$5 000 - \$10 000/Person	7
<input type="checkbox"/>	Between \$10 000 - \$20 000/Person	3
<input type="checkbox"/>	Above \$20 000/Person	1

19- Installation and implementation cost (C53)

<input type="checkbox"/>	Between \$0 - \$30 000	9
<input type="checkbox"/>	Between \$30 000 - \$60 000	7
<input type="checkbox"/>	Between \$60 000 - \$90 000	3
<input type="checkbox"/>	Above \$90 000	1

20- Maintenance and updating cost (C54)

<input type="checkbox"/>	Between \$0/Hr - \$50/Hr	9
<input type="checkbox"/>	Between \$50/Hr - \$100/Hr	7
<input type="checkbox"/>	Between \$100/Hr - \$150/Hr	3
<input type="checkbox"/>	Above \$150/Hr	1

21- Interactive Gantt chart (C61)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

22- Resource calendar editor (C62)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

23- Report generator (C63)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

24- Advanced planning algorithms (C64)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

25- Multi-constraint consideration (C65)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

26- Multiple/ customized schedule objectives (C66)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

27- What if scenario module (67)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9
<input type="checkbox"/>	Possibility to plot Gantt chart of several scenario	

28- Integration (C68)

<input type="checkbox"/>	Very poor	1
<input type="checkbox"/>	Poor	3
<input type="checkbox"/>	Fair	5
<input type="checkbox"/>	Good	7
<input type="checkbox"/>	Very good	9

ANNEXE XI

FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL PREACTOR (ALTERNATIVE 1)

Alternative 1 - PREACTOR - software review

1- Customizable fields (C11)

- ☐ Between 0% - 10% of customizability fields
☐ Between 10% - 30% of customizability fields
☐ Between 30% - 50% of customizability fields
☒ Above 50% of customizability fields

2- Customizable reports (C12)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

3- User interface (C21)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

4- User types (C22)

- ☐ Suitable for beginners users
☐ Suitable for intermediate users
☐ Suitable for advanced users
☒ Adaptable to each user types

5- Data visualization (C23)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

6- Error reporting (C24)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

7- Ease of use (C25)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

8- Robustness (C31)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

9- Backup and recovery (C32)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

10- Training (C41)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

11- Maintenance and upgrading (C42)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

12- Consultancy (C43)

- ☐ Between 0 - 5 vendors partners
☒ Between 5 - 15 vendors partners
☐ Between 15 - 20 vendors partners
☐ Above 20 vendors partners

13- Vendor popularity (C44) - companies use the APS in the world institutions, schools, universities

- ☐ Between 0 - 25 companies
☐ Between 25 - 70 companies
☒ Between 70 - 100 companies
☐ Above 100 companies

14- Past business experience (C45)

- ☐ Between 0 - 5 years
☐ Between 5 - 10 years
☐ Between 10 - 20 years
☒ Above 20 years

15- References (C46)

- ☒ Major company
☐ Intermediate company
☐ Minor company

16- Length of experience (C47)

- ☐ Between 0 year - 5 years
☐ Between 5 years - 15 years
☐ Between 15 years - 20 years
☒ Above 20 years

17- License cost (C51)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☒ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

18- Training cost (C52)

- ☐ Between \$0 - \$1 000/Person
☒ Between \$5 000 - \$10 000/Person
☐ Between \$10 000 - \$20 000/Person
☐ Above \$20 000/Person

19- Installation and implementation cost (C53)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☒ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

20- Maintenance and updating cost (C54)

- ☐ Between \$0/Hr - \$50/Hr
☐ Between \$50/Hr - \$100/Hr
☒ Between \$100/Hr - \$150/Hr
☐ Above \$150/Hr

21- Interactive Gantt chart (C61)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

22- Resource calendar editor (C62)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

23- Report generator (C63)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

24- Advanced planning algorithms (C64)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

25- Multi-constraint consideration (C65)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

26- Multiple/ customized schedule objectives (C66)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

27- What if scenario module (67)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good
☐ Possibility to plot Gantt chart of several scenario

28- Integration (C68)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

ANNEXE XII

FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL SAP - APO (ALTERNATIVE 2)

Alternative 2 - SAP APO - software review

1- Customizable fields (C11)

<input type="checkbox"/>	Between 0% - 10% of customizability fields
<input type="checkbox"/>	Between 10% - 30% of customizability fields
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 30% - 50% of customizability fields
<input type="checkbox"/>	Above 50% of customizability fields

2- Customizable reports (C12)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

3- User interface (C21)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

4- User types (C22)

<input type="checkbox"/>	Suitable for beginners users
<input checked="" type="checkbox"/>	Suitable for intermediate users
<input type="checkbox"/>	Suitable for advanced users
<input type="checkbox"/>	Adaptable to each user types

5- Data visualization (C23)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input checked="" type="checkbox"/>	Very good

6- Error reporting (C24)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input type="checkbox"/>	Fair
<input checked="" type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

7- Ease of use (C25)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

8- Robustness (C31)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

9- Backup and recovery (C32)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input type="checkbox"/>	Fair
<input checked="" type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

10- Training (C41)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair
<input type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

11- Maintenance and upgrading (C42)

<input type="checkbox"/>	Very poor
<input type="checkbox"/>	Poor
<input type="checkbox"/>	Fair
<input checked="" type="checkbox"/>	Good
<input type="checkbox"/>	Very good

12- Consultancy (C43)

<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 vendors partners
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 5 - 15 vendors partners
<input type="checkbox"/>	Between 15 - 20 vendors partners
<input type="checkbox"/>	Above 20 vendors partners

13- Vendor popularity (C44) - companies use the APS in the world institutions, schools, universities

<input type="checkbox"/>	Between 0 - 25 companies
<input type="checkbox"/>	Between 25 - 70 companies
<input type="checkbox"/>	Between 70 - 100 companies
<input checked="" type="checkbox"/>	Above 100 companies

14- Past business experience (C45)

<input type="checkbox"/>	Between 0 - 5 years
<input type="checkbox"/>	Between 5 - 10 years
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 10 - 20 years
<input type="checkbox"/>	Above 20 years

15- References (C46)

- ☐ Major company
☒ Intermediate company
☐ Minor company

16- Length of experience (C47)

- ☐ Between 0 year - 5 years
☒ Between 5 years - 15 years
☐ Between 15 years - 20 years
☐ Above 20 years

17- License cost (C51)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☐ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

18- Training cost (C52)

- ☒ Between \$0 - \$1 000/Person
☐ Between \$5 000 - \$10 000/Person
☐ Between \$10 000 - \$20 000/Person
☐ Above \$20 000/Person

19- Installation and implementation cost (C53)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☒ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

20- Maintenance and updating cost (C54)

- ☐ Between \$0/Hr - \$50/Hr
☒ Between \$50/Hr - \$100/Hr
☐ Between \$100/Hr - \$150/Hr
☐ Above \$150/Hr

21- Interactive Gantt chart (C61)

- ☐ Very poor
☒ Poor
☐ Fair
☐ Good
☐ Very good

22- Resource calendar editor (C62)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

23- Report generator (C63)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

24- Advanced planning algorithms (C64)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

25- Multi-constraint consideration (C65)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☐ Very good

26- Multiple/ customized schedule objectives (C66)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

27- What if scenario module (67)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good
☐ Possibility to plot Gantt chart of several scenario

28- Integration (C68)

- ☐ Very poor
☒ Poor
☐ Fair
☐ Good
☐ Very good

ANNEXE XIII

FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL ORACLE – ASCP (ALTERNATIVE 3)

Alternative A3 - ORACLE ASCP - software review																					
<p>1- Customizable fields (C11)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 0% - 10% of customizability fields</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 10% - 30% of customizability fields</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 30% - 50% of customizability fields</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Above 50% of customizability fields</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Between 0% - 10% of customizability fields	<input type="checkbox"/>	Between 10% - 30% of customizability fields	<input type="checkbox"/>	Between 30% - 50% of customizability fields	<input checked="" type="checkbox"/>	Above 50% of customizability fields	<p>8- Robustness (C31)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good		
<input type="checkbox"/>	Between 0% - 10% of customizability fields																				
<input type="checkbox"/>	Between 10% - 30% of customizability fields																				
<input type="checkbox"/>	Between 30% - 50% of customizability fields																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Above 50% of customizability fields																				
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<p>2- Customizable reports (C12)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good	<p>9- Backup and recovery (C32)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<p>3- User interface (C21)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input type="checkbox"/>	Good	<input checked="" type="checkbox"/>	Very good	<p>10- Training (C41)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input type="checkbox"/>	Good																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Very good																				
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<p>4- User types (C22)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Suitable for beginners users</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Suitable for intermediate users</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Suitable for advanced users</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Adaptable to each user types</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Suitable for beginners users	<input checked="" type="checkbox"/>	Suitable for intermediate users	<input type="checkbox"/>	Suitable for advanced users	<input type="checkbox"/>	Adaptable to each user types	<p>11- Maintenance and upgrading (C42)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input checked="" type="checkbox"/>	Fair	<input type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good		
<input type="checkbox"/>	Suitable for beginners users																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Suitable for intermediate users																				
<input type="checkbox"/>	Suitable for advanced users																				
<input type="checkbox"/>	Adaptable to each user types																				
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Fair																				
<input type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<p>5- Data visualization (C23)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good	<p>12- Consultancy (C43)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 100 vendors partners</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 100 - 500 vendors partners</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Between 500 - 1000 vendors partners</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Above 1000 vendors partners</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 100 vendors partners	<input type="checkbox"/>	Between 100 - 500 vendors partners	<input checked="" type="checkbox"/>	Between 500 - 1000 vendors partners	<input type="checkbox"/>	Above 1000 vendors partners		
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 100 vendors partners																				
<input type="checkbox"/>	Between 100 - 500 vendors partners																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 500 - 1000 vendors partners																				
<input type="checkbox"/>	Above 1000 vendors partners																				
<p>6- Error reporting (C24)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good	<p>13- Vendor popularity (C44) - companies using the APS in the world institutions, schools, universities</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 500 companies</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 500 - 1500 companies</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Between 1500 - 3000 companies</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Above 3000 companies</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 500 companies	<input type="checkbox"/>	Between 500 - 1500 companies	<input checked="" type="checkbox"/>	Between 1500 - 3000 companies	<input type="checkbox"/>	Above 3000 companies		
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 500 companies																				
<input type="checkbox"/>	Between 500 - 1500 companies																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 1500 - 3000 companies																				
<input type="checkbox"/>	Above 3000 companies																				
<p>7- Ease of use (C25)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Poor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Fair</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Good</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Very good</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Very poor	<input type="checkbox"/>	Poor	<input type="checkbox"/>	Fair	<input checked="" type="checkbox"/>	Good	<input type="checkbox"/>	Very good	<p>14- Past business experience (C45)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 0 - 10 years</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Between 10 - 20 years</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td><td>Between 20 - 40 years</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td><td>Above 40 years</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Between 0 - 10 years	<input type="checkbox"/>	Between 10 - 20 years	<input checked="" type="checkbox"/>	Between 20 - 40 years	<input type="checkbox"/>	Above 40 years		
<input type="checkbox"/>	Very poor																				
<input type="checkbox"/>	Poor																				
<input type="checkbox"/>	Fair																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Good																				
<input type="checkbox"/>	Very good																				
<input type="checkbox"/>	Between 0 - 10 years																				
<input type="checkbox"/>	Between 10 - 20 years																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Between 20 - 40 years																				
<input type="checkbox"/>	Above 40 years																				

15- References (C46)

- ☒ Major company
☐ Intermediate company
☐ Minor company

16- Length of experience (C47)

- ☐ Between 0 year - 5 years
☒ Between 5 years - 15 years
☐ Between 15 years - 20 years
☐ Above 20 years

17- License cost (C51)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☐ Between \$30 000 - \$60 000
☒ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

18- Training cost (C52)

- ☐ Between \$0 - \$1 000/Person
☒ Between \$5 000 - \$10 000/Person
☐ Between \$10 000 - \$20 000/Person
☐ Above \$20 000/Person

19- Installation and implementation cost (C53)

- ☒ Between \$0 - \$30 000
☐ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☐ Above \$90 000

20- Maintenance and updating cost (C54)

- ☐ Between \$0/Hr - \$50/Hr
☒ Between \$50/Hr - \$100/Hr
☐ Between \$100/Hr - \$150/Hr
☐ Above \$150/Hr

21- Interactive Gantt chart (C61)

- ☐ Very poor
☒ Poor
☐ Fair
☐ Good
☐ Very good

22- Resource calendar editor (C62)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

23- Report generator (C63)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

24- Advanced planning algorithms (C64)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

25- Multi-constraint consideration (C65)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

26- Multiple/ customized schedule objectives (C66)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

27- What if scenario module (67)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good
☐ Possibility to plot Gantt chart of different scenario

28- Integration (C68)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

ANNEXE XIV

FICHE D'ÉVALUATION DU LOGICIEL INFOR (ALTERNATIVE 4)

Alternative 4 - INFOR - software review

1- Customizable fields (C11)

- ☒ Between 0% - 10% of customizability fields
☐ Between 10% - 30% of customizability fields
☐ Between 30% - 50% of customizability fields
☐ Above 50% of customizability fields

2- Customizable reports (C12)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

3- User interface (C21)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

4- User types (C22)

- ☐ Suitable for beginners users
☐ Suitable for intermediate users
☐ Suitable for advanced users
☒ Adaptable to each user types

5- Data visualization (C23)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

6- Error reporting (C24)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

7- Ease of use (C25)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☒ Good
☐ Very good

8- Robustness (C31)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

9- Backup and recovery (C32)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

10- Training (C41)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

11- Maintenance and upgrading (C42)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

12- Consultancy (C43)

- ☐ Between 0 - 50 vendors partners
☐ Between 50 - 100 vendors partners
☒ Between 100 - 200 vendors partners
☐ Above 200 vendors partners

13- Vendor popularity (C44) - companies use the APS in the world institutions, schools, universities

- ☐ Between 0 - 100 companies
☒ Between 500 - 1000 companies
☐ Between 1000 - 2000 companies
☐ Above 2000 companies

14- Past business experience (C45)

- ☐ Between 0 - 10 years
☒ Between 10 - 20 years
☐ Between 20 - 40 years
☐ Above 40 years

15- References (C46)

- ☒ Major company
☐ Intermediate company
☐ Minor company

16- Length of experience (C47)

- ☐ Between 0 year - 5 years
☐ Between 5 years - 15 years
☒ Between 15 years - 20 years
☐ Above 20 years

17- License cost (C51)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☐ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☒ Above \$90 000

18- Training cost (C52)

- ☐ Between \$0 - \$ 1 000/Person
☒ Between \$5 000 - \$10 000/Person
☐ Between \$10 000 - \$20 000/Person
☐ Above \$20 000/Person

19- Installation and implementation cost (C53)

- ☐ Between \$0 - \$30 000
☐ Between \$30 000 - \$60 000
☐ Between \$60 000 - \$90 000
☒ Above \$90 000

20- Maintenance and updating cost (C54)

- ☐ Between \$0/Hr - \$50/Hr
☐ Between \$50/Hr - \$100/Hr
☐ Between \$100/Hr - \$150/Hr
☒ Above \$150/Hr

21- Interactive Gantt chart (C61)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

22- Resource calendar editor (C62)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

23- Report generator (C63)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

24- Advanced planning algorithms (C64)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

25- Multi-constraint consideration (C65)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

26- Multiple/ customized schedule objectives (C66)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☐ Fair
☐ Good
☒ Very good

27- What if scenario module (67)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

28- Integration (C68)

- ☐ Very poor
☐ Poor
☒ Fair
☐ Good
☐ Very good

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amir, A., & Alireza, A. (2016). A combined evaluation method to rank alternatives based on VIKOR and DEA with BELIEF structure under uncertainty. *Iranian Journal of Optimization*, 8 (2), 1050-1067.
- Ashtiani, M., & Abdollahi Azgomi, M. (2016). Trust modeling based on a combination of fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy VIKOR. *Soft Computing*, 20 (1), 399-421. doi: 10.1007/s00500-014-1516-1. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-014-1516-1>
- Ashu, B., Brijesh, K., & Rakesh, G. (2017). Multi-criteria decision-making approach for the selection of software effort estimation model. *Management Science Letters*, 7 (6), 285-296. doi: 10.5267/j.msl.2017.3.003
- Ayağ, Z., & Özdemir, R. G. (2007). An intelligent approach to ERP software selection through fuzzy ANP. *International Journal of Production Research*, 45 (10), 2169-2194. doi: 10.1080/00207540600724849. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/00207540600724849>
- Ayman, N., & Safwan, A. (2017). Integration of value stream map and strategic layout planning into DMAIC approach to improve carpeting process. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10 (1), 74-97. doi: 10.3926/jiem.2040
- Azadeh, A., Shirkouhi, S. N., & Rezaie, K. (2010). A robust decision-making methodology for evaluation and selection of simulation software package. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47 (1-4), 381-393. doi: 10.1007/s00170-009-2205-6. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-009-2205-6>
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128-137. doi: 10.1016/j.compind.2016.02.004
- Baldin, A. (2017). A DEA approach for selecting a bundle of tickets for performing arts events. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 39 (Supplement C), 190-200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2017.08.014>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969698917300061>
- Barbosa, J., Leitão, P., Adam, E., & Trentesaux, D. (2015). Dynamic self-organization in holonic multi-agent manufacturing systems: The ADACOR evolution. *Computers in Industry*, 66, 99-111. doi: 10.1016/j.compind.2014.10.011

- Beauregard, Y., Polotski, V., Bhuiyan, N., & Thomson, V. (2017). Optimal utilisation level for lean product development in a multitasking context. *International Journal of Production Research*, 55 (3), 795-818. doi: 10.1080/00207543.2016.1213448. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1213448>
- Benita, M. B. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (3), 275-292. doi: 10.1108/01443579910249714
- Bennis, K., & Bahi, L. (2016). Application de la logique floue à l'aide à la décision participative pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement – cas de Tanger. *Journal of Decision Systems*, 25 (1), 56-78. doi: 10.1080/12460125.2015.1108158. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/12460125.2015.1108158>
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12 (1), 14-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.02.001>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409206000100>
- Božek, A. (2012). Custom scheduling algorithm in real-world applications. *Research in Logistics and production*, 2 (3), 233-245.
- Browning, T. R., & Heath, R. D. (2009). Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program. *Journal of Operations Management*, 27 (1), 23-44. doi: 10.1016/j.jom.2008.03.009
- Buyukozkan, G., Feyziolu, O., & Gocer, F. (2016). Evaluation of hospital web services using intuitionists fuzzy AHP and intuitionists fuzzy VIKOR. Dans *2016 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2016, December 4, 2016 - December 7, 2016* (Vol. 2016-December, pp. 607-611). IEEE Computer Society. doi: 10.1109/IEEM.2016.7797947. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797947>
- Chaari, T., Chaabane, S., Aissani, N., & Trentcsaux, D. (2014). Scheduling under uncertainty: Survey and research directions. Dans *2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2014, May 1, 2014 - May 3, 2014* (pp. 229-234). IEEE Computer Society. doi: 10.1109/ICAdLT.2014.6866316. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/ICAdLT.2014.6866316>
- Chen, K., & Ji, P. (2007). A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS). *European Journal of Operational Research*, 181 (1), 515-522. doi: 10.1016/j.ejor.2006.06.018

- Chen, K., Ji, P., & Wang, Q. (2011). A case study for advanced planning and scheduling (APS). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 20 (4), 460-474. doi: 10.1007/s11518-011-5180-z. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1007/s11518-011-5180-z>
- Cherrared, M., Zekiouk, T., & Chocat, B. (2011). Application of AHP method for performance evaluation Urban sanitation
- Application de la methode AHP pour l'évaluation de la performance des systemes d'assainissement urbains. *Journal of Decision Systems*, 20 (1), 103-127. doi: 10.3166/jds.20.103-127. Repéré à <http://dx.doi.org/10.3166/jds.20.103-127>
- Chuang, T.-N., Kung, J.-Y., Lin, Y.-F., & Ku, H.-C. (2011). Expert decision-making method based on uncertain linguistic variables. Dans *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ 2011, June 27, 2011 - June 30, 2011* (pp. 1670-1673). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109/FUZZY.2011.6007677. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/FUZZY.2011.6007677>
- Dammak, F., Baccour, L., & Alimi, A. M. (2015). A comparative analysis for multi-attribute decision-making methods: TOPSIS, AHP, VIKOR using intuitionists fuzzy sets. Dans *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE 2015, August 2, 2015 - August 5, 2015* (Vol. 2015-November). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2015.7338059. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2015.7338059>
- David, R., & Christian, T. (1999). Aide à la décision multicritères pour l'évaluation de performance. *Journal of Decision Systems*, 8 (3), 339-365. doi: 10.1080/12460125.1999.10511765
- Dixon, W. J., & Massey, F. J. (1983). *Introduction to statistical analysis* (4th ed. éd.). New York, N.Y.: McGraw-Hill.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes Jr, J. A. V. (2015). *Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement*. Cham: Springer International Publishing: Imprint: Springer. Repéré à <http://banques.enap.ca/Proxy.pl?adresse=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>
- Drummond, M., Bresina, J., & Swanson, K. (1994). Just-in-case scheduling. Dans *Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence. Part 1 (of 2), July 31, 1994 - August 4, 1994* (Vol. 2, pp. 1098-1104). AAAI.
- Eastham, J., Tucker, D. J., Varma, S., & Sutton, S. M. (2014). PLM Software Selection Model for Project Management Using Hierarchical Decision Modeling With Criteria

- From PMBOK® Knowledge Areas. *Engineering Management Journal*, 26 (3), 13-24. doi: 10.1080/10429247.2014.11432016
- Efe, B. (2016). An integrated fuzzy multi criteria group decision-making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing*, 38, 106-117. doi: 10.1016/j.asoc.2015.09.037. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.037>
- Eickemeyer, S. C., Herde, F., Irudayaraj, P., & Nyhuis, P. (2014). Decision models for capacity planning in a regeneration environment. *International Journal of Production Research*, 1-20. doi: 10.1080/00207543.2014.923122
- Evans, D. (1989). A comparison of sequential and parallel elimination methods for tridiagonal matrices. *ACM SIGNUM Newsletter*, 24 (1), 11-12. doi: 10.1145/1057967.1057970
- Galvin, R. (2015). How many interviews are enough? Do qualitative interviews in building energy consumption research produce reliable knowledge? *Journal of Building Engineering*, 1 (Supplement C), 2-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2014.12.001>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710214000023>
- Gargeya, V. B., & Brady, C. (2005). Success and failure factors of adopting SAP in ERP system implementation. *Business Process Management Journal*, 11 (5), 501-516. doi: 10.1108/14637150510619858. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1108/14637150510619858>
- Guo, J., White, J., Wang, G., Li, J., & Wang, Y. (2011). A genetic algorithm for optimized feature selection with resource constraints in software product lines. *Journal of Systems and Software*, 84 (12), 2208-2221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.06.026>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121211001518>
- Haddadzade, M., Razfar, M., & Zarandi, M. (2014). Integration of process planning and job shop scheduling with stochastic processing time. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71 (1), 241-252. doi: 10.1007/s00170-013-5469-9
- Hagazi, H. H., & Guo, X. J. (2013). Implementation of advanced planning and scheduling system in manufacturing industries. Dans *2013 3rd International Conference on Advanced Measurement and Test, AMT 2013, March 13, 2013 - March 14, 2013* (Vol. 718-720, pp. 2485-2490). Trans Tech Publications Ltd. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.718-720.2485. Repéré à <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.718-720.2485>
- Haiqing, Z., Bouras, A., Ouzrout, Y., & Sekhari, A. (2014). Fuzzy multi-criteria lifecycle system maturity decision-making based on an integrated Fuzzy AHP and VIKOR

- methodology. Dans *2014 International Conference on Computational Science and Technology (ICCST)*, 27-28 Aug. 2014 (pp. 6 pp.). IEEE. doi : 10.1109/ICCST.2014.7045198. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/ICCST.2014.7045198>
- Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision-making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus*, 5 (1), 263. doi: 10.1186/s40064-016-1888-z. Repéré à <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
- Harrell, C. R., & Field, K. C. (1996). Integrating process mapping and simulation. Dans *Proceedings of 1996 Winter Simulation Conference Proceedings*, 8-11 Dec. 1996 (pp. 1292-1296). SCS Int. doi: 10.1145/256562.256950. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1145/256562.256950>
- Hauser, J. R., & Clausing, D. P. (1988). The House of Quality. *Harvard Business Review*, May/June.
- He, L., Song, W., Wu, Z., Xu, Z., Zheng, M., & Ming, X. (2017). Quantification and integration of an improved Kano model into QFD based on multi-population adaptive genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 183-194. doi: 10.1016/j.cie.2017.10.009
- Held, T., Fischer, P., & Schrepp, M. (2011). Scaling of input forms by a simple pair comparison approach. *Library Hi Tech*, 29 (2), 334-348. doi: 10.1108/07378831111138206
- Hemmati, R., Saboori, H., & Jirdehi, M. A. (2017). Stochastic planning and scheduling of energy storage systems for congestion management in electric power systems including renewable energy resources. *Energy*, 133, 380-387. doi: 10.1016/j.energy.2017.05.167
- Hevner, A. R., March, S. T., & Jinsoo, P. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28 (1), 75-105.
- Hicdurmaz, M. (2012). A fuzzy multi criteria decision-making approach to software lifecycle model selection. Dans *38th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2012, September 5, 2012 - September 8, 2012* (pp. 384-391). IEEE Computer Society. doi: 10.1109/SEAA.2012.71. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/SEAA.2012.71>
- Higson, P. (2007). The bigger picture - concept and process mapping. *Quality World*, 33 (10), 26-29.

- Hunter, M. (1994). Business process mapping workshop. Dans *Proceedings of the 37th International Conference, October 30, 1994 - November 4, 1994* (pp. 682-687). APICS.
- Hvolby, H.-H., & Steger-Jensen, K. (2010). Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems. *Computers in Industry*, 61 (9), 845-851. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2010.07.009>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361510001132>
- Ivlev, I., Vacek, J., & Kneppo, P. (2015). Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of medical devices under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 247 (1), 216-228. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.075>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715004877>
- Kahraman, C., Beskese, A., & Kaya, I. (2010). Selection among ERP outsourcing alternatives using a fuzzy multi-criteria decision-making methodology. *International Journal of Production Research*, 48 (2), 547-566. doi: 10.1080/00207540903175095. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/00207540903175095>
- Karniel, A., & Reich, Y. (2007). Managing dynamic new product development processes. Dans *17th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2007, June 24, 2007 - June 28, 2007* (Vol. 2, pp. 1053-1067). INCOSE.
- Karsak, E. E., & Dursun, M. (2014). An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data. *Expert Systems with Applications*, 41 (16), 6995-7004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.06.020>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414003613>
- Karsak, E. E., & Ozogul, C. O. (2009). An integrated decision-making approach for ERP system selection. *Expert Systems with Applications*, 36 (1), 660-667. doi: 10.1016/j.eswa.2007.09.016. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.016>
- Kenné, J.-P., Dejax, P., & Gharbi, A. (2010). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.10.026
- Knovel, Eppinger, S. D., & Browning, T. R. (2012). *Design structure matrix methods and applications*. Cambridge, Mass.: MIT Press. Repéré à <http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpDSMMA003/design-structure-matrix>
- Kurz, J. (2016). Capacity planning for a maintenance service provider with advanced information. *European Journal of Operational Research*, 251 (2), 466-477. doi: 10.1016/j.ejor.2015.11.029

- L. Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*/A. Strauss, J. Corbin.
- Lai, V. S., Wong, B. K., & Cheung, W. (2002). Group decision-making in a multiple criteria environment: A case using the AHP in software selection. *European Journal of Operational Research*, 137 (1), 134-144. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00084-4). Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221701000844>
- Lander, E., & Liker, J. K. (2007). The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 45 (16), 3681-3698. doi: 10.1080/00207540701223519
- Leekwijck, W. V., & Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, 108 (2), 159-178. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00337-0](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00337-0). Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011497003370>
- Levardy, V., & Browning, T. R. (2009). An Adaptive Process Model to Support Product Development Project Management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 56 (4), 600-620. doi: 10.1109/TEM.2009.2033144
- Levin, B., & Leu, C.-S. (2007). A comparison of two procedures to select the best binomial population with sequential elimination of inferior populations. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 137 (1), 245-263. doi: 10.1016/j.jspi.2005.12.002
- Li, H., Chen, C., Cook, W. D., Zhang, J., & Zhu, J. (2017). Two-stage network DEA: Who is the leader? *Omega*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.12.009>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030504831630651X>
- Lian, K., Zhang, C., Gao, L., & Li, X. (2012). Integrated process planning and scheduling using an imperialist competitive algorithm. *International Journal of Production Research*, 50 (15), 4326-4343. doi: 10.1080/00207543.2011.622310
- Liu, P., & Jin, F. (2012). A multi-attribute group decision-making method based on weighted geometric aggregation operators of interval-valued trapezoidal fuzzy numbers. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (6), 2498-2509. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.006>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11005488>
- Manson, N. (2006). Is operations research really research? *ORiON*, 22 (2). doi: 10.5784/22-2-40

- March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. Dans *2nd Workshop on Information Technologies and Systems (WITS'92), 12-13 Dec. 1992* (4 éd., Vol. 15, pp. 251-266). Elsevier. doi: 10.1016/0167-9236(94)00041-2. Repéré à [http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)
- Maritan, D. (2015). *Practical Manual of Quality Function Deployment*. Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer. Repéré à <http://banques.enap.ca/Proxy.pl?adresse=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08521-0>
- Martin-Utrillas, M., Reyes-Medina, M., Curiel-Esparza, J., & Canto-Perello, J. (2015). Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 (4), 873-885. doi: 10.1007/s10098-014-0834-4
- Martin, R., & Ola, C. (2011). APS for tactical planning in a steel processing company. *Industrial Management & Data Systems*, 111 (4), 608-628. doi: 10.1108/02635571111133579
- Mauergauz, Y. (2016). *Advanced Planning and Scheduling in Manufacturing and Supply Chains*. Cham: Springer International Publishing. Repéré à <http://proxy.uqtr.ca/login.cgi?action=login&u=uqtr&db=springer-eb&url=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-27523-9>
- Mohamed, A. S., Khaled, S. E.-K., & Aziz, E. E.-S. (2011). Value Stream Map Simulator Using ExtendSim. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2190 (1), 755-758.
- Mohapatra, P., Nayak, A., Kumar, S. K., & Tiwari, M. K. (2014). Multi-objective process planning and scheduling using controlled elitist non-dominated sorting genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 1-24. doi: 10.1080/00207543.2014.957872
- Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H., & Chemweno, P. (2013). Modelling maintenance effects on manufacturing equipment performance: results from simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 1-16. doi: 10.1080/00207543.2013.870673
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (4), 80-116. doi: 10.1108/01443579510083622

- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445-455. doi: 10.1016/S0377-2217 (03)00020-1
- Opricović, S., & Tzeng, G.-H. (2008). A comparative analysis of the DEA-CCR model and the VIKOR method. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 18 (2), 187-203. doi: 10.2298/YJOR0802187O
- Örnek, A., Özpeynirci, S., & Öztürk, C. (2010). A note on "A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS)". *European Journal of Operational Research*, 203 (3), 784-785. doi: 10.1016/j.ejor.2009.09.025
- Otay, İ., Oztaysi, B., Cevik Onar, S., & Kahraman, C. (2017). Multi-expert performance evaluation of healthcare institutions using an integrated intuitionistic fuzzy AHP&DEA methodology. *Knowledge-Based Systems*, 133 (Supplement C), 90-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.06.028>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705117303088>
- Owen, H. (2008). *Open space technology* San Francisco: Berrett-Koehler Publishers. Repéré à <https://apps.uqo.ca/LoginSigparb/LoginPourRessources.aspx?url=http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=14059>
- Ozogul, C. O., & Karsak, E. E. (2008). An integrated quality function deployment and fuzzy regression-based optimization framework for selecting an e-business software system. Dans *2008 International Conference on Information and Knowledge Engineering, IKE 2008, July 14, 2008 - July 17, 2008* (pp. 250-255). CSREA Press.
- Öztürk, C., & Ornek, A. M. (2014). Operational extended model formulations for Advanced Planning and Scheduling systems. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (1), 181-195. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.05.049>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X13003727>
- Parameshwaran, R., Praveen Kumar, S., & Saravanakumar, K. (2015). An integrated fuzzy MCDM based approach for robot selection considering objective and subjective criteria. *Applied Soft Computing*, 26 (Supplement C), 31-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.09.025>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494614004785>
- Parkash, & Kaushik. (2011). Supplier Performance Monitoring and Improvement (SPMI) through SIPOC Analysis and PDCA Model to the ISO 9001 QMS in Sports Goods Manufacturing Industry. *LogForum*, 7 (4).

- Patrik, J., Linea, K., & Martin, R. (2007). Applying advanced planning systems for supply chain planning: three case studies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (10), 816-834. doi: 10.1108/09600030710848932
- Pournader, M., Tabassi, A. A., & Baloh, P. (2015). A three-step design science approach to develop a novel human resource-planning framework in projects: the cases of construction projects in USA, Europe, and Iran. *International Journal of Project Management*, 33 (2), 419-434. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.06.009>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786314001057>
- Pratima, M., & Rajiv Kumar, S. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31 (5), 522-546. doi: 10.1108/IJQRM-06-2012-0089
- Premaratne, S., & Senevi, K. (2012). Aircraft maintenance planning and scheduling: an integrated framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18 (4), 432-453. doi: 10.1108/13552511211281598
- Pulat, P. S., Sarin, S. C., & Uzsoy, R. (2014). *Essays in Production, Project Planning and Scheduling: A Festschrift in Honor of Salah Elmaghraby*. Boston, MA: Springer US. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-9056-2>
- Rao, R. V. (2008). A decision-making methodology for material selection using an improved compromise ranking method. *Materials & Design*, 29 (10), 1949-1954. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.019>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306908001064>
- Rivera-Gómez, H., Gharbi, A., & Kenné, J. P. (2013). Joint production and major maintenance planning policy of a manufacturing system with deteriorating quality. *International Journal of Production Economics*, 146 (2), 575-587. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.08.006
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda* (Version 1.3. éd.). Cambridge, Mass.: Lean Enterprise Institute.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9 (3), 161-176. doi: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8). Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>
- Sadowski, R. (1998). Selecting scheduling software. *IIE Solutions*, 30 (10), 45-47.
- San Cristóbal, J. R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method. *Renewable Energy*, 36 (2), 498-502. doi:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>. Repéré à
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110003563>

- Sen, C. G., Baracli, H., Sen, S., & Basligil, H. (2009). An integrated decision support system dealing with qualitative and quantitative objectives for enterprise software selection. *Expert Systems with Applications*, 36 (3 PART 1), 5272-5283. doi: 10.1016/j.eswa.2008.06.070. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.070>
- Shi, L., & Yang, S. (2009). The evaluation of software trustworthiness with FAHP and FTOPSIS methods. Dans *2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, CiSE 2009, December 11, 2009 - December 13, 2009* (pp. IEEE Wuhan Section; Wuhan University; James Madison University; University of Wisconsin at La Crosse; Microsoft Research Asia). IEEE Computer Society. doi: 10.1109/CISE.2009.5365827. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/CISE.2009.5365827>
- Singh, R. K., Choudhury, A. K., Tiwari, M. K., & Maull, R. S. (2006). An integrated fuzzy-based decision support system for the selection of lean tools: A case study from the steel industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220 (10), 1735-1749. doi: 10.1243/09544054JEM494
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2005). *Supply Chain Management and Advanced Planning Concepts, Models, Software and Case Studies* (Third Edition. éd.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1007/b106298>
- Stephan, H., Gschwind, T., & Minner, S. (2010). Manufacturing capacity planning and the value of multi-stage stochastic programming under Markovian demand. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22 (3), 143-162. doi: 10.1007/s10696-010-9071-2
- Sullivan, W. G., McDonald, T. N., & Van Aken, E. M. (2002). Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18 (3), 255-265. doi: 10.1016/S0736-5845 (02)00016-9
- Tan, C., & Chen, X. (2011). Induced intuitionists fuzzy Choquet integral operator for multicriteria decision-making. *International Journal of Intelligent Systems*, 26 (7), 659-686. doi: 10.1002/int.20489
- Tetteh, E. G., & Uzochukwu, B. M. Lean Six Sigma Approaches in Manufacturing, Services, and Production: IGI Global.

- Torsten, M., & Sven, V. (2013). ERP systems: aspects of selection, implementation and sustainable operations. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 1 (2), 25-39. doi: 10.12821/ijispm010202
- Tsaur, S.-H., Chang, T.-Y., & Yen, C.-H. (2002). The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Tourism Management*, 23 (2), 107-115. doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(01\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(01)00050-4). Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517701000504>
- Vail, E. F. (2002). Causal Architecture: Bringing the Zachman Framework to Life. *Information Systems Management*, 19 (3), 8-19. doi: 10.1201/1078/43201.19.3.20020601/37165.2
- Vaishnavi, V., & Kuechler, W. (2015). *Design science research methods and patterns: innovating information and communication technology* (Second edition. éd.). Boca Raton, FL: CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business. Repéré à <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=74154>
- Vetschera, R., & de Almeida, A. T. (2012). A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operations Research*, 39 (5), 1010-1020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.019>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505481100181X>
- Winke, P. (2017). Using focus groups to investigate study abroad theories and practice. *System*, 71, 73-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.system.2017.09.018>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0346251X1730790X>
- Woxvold, E. R. A. (1992). Extending MRP II hierarchical structures to PERT/CPM networks. Dans *Proceedings of the APICS 35th International Conference and Exhibition, October 18, 1992 - October 23, 1992* (pp. 447-451). Publ by APICS.
- Wu, C.-H., & Chuang, Y.-T. (2012). An efficient algorithm for stochastic capacity portfolio planning problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (6), 2161-2170. doi: 10.1007/s10845-011-0562-0
- Wu, J., & Liu, Y. (2013). An approach for multiple attribute group decision-making problems with interval-valued intuitionists trapezoidal fuzzy numbers. *Computers & Industrial Engineering*, 66 (2), 311-324. doi: 10.1016/j.cie.2013.07.001
- Wu, S.-M., Liu, H.-C., & Wang, L.-E. (2017). Hesitant fuzzy integrated MCDM approach for quality function deployment: a case study in electric vehicle. *International Journal of Production Research*, 55 (15), 4436-4449. doi: 10.1080/00207543.2016.1259670. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1259670>

- Wu, Z., Ahmad, J., & Xu, J. (2016). A group decision-making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information. *Applied Soft Computing*, 42, 314-324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.02.007>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494616300503>
- Yazgan, H. R., Boran, S., & Goztepe, K. (2009). An ERP software selection process with using artificial neural network based on analytic network process approach. *Expert Systems with Applications*, 36 (5), 9214-9222. doi: 10.1016/j.eswa.2008.12.022
- You, X.-Y., You, J.-X., Liu, H.-C., & Zhen, L. (2015). Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information. *Expert Systems with Applications*, 42 (4), 1906-1916. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.004>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414006277>
- Yu, X., Xu, Z., & Ma, Y. (2013). Prioritized Multi-Criteria Decision Making based on the Idea of PROMETHEE. *Procedia Computer Science*, 17, 449-456. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.058>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913001919>
- Yue, D., & You, F. (2013). Planning and scheduling of flexible process networks under uncertainty with stochastic inventory: MINLP models and algorithm. *AIChE Journal*, 59 (5), 1511-1532. doi: 10.1002/aic.13924
- Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Hussain, M., Haiqi, A., Mat Kiah, M. L., & Abdulnabi, M. (2015). Multi-criteria analysis for OS-EMR software selection problem: A comparative study. *Decision Support Systems*, 78, 15-27. doi: 10.1016/j.dss.2015.07.002
- Zaini, R., & Quqandi, E. (2015). A multi-criteria decision-making model for software selection to build e-portfolio. Dans *5th International Conference on e-Learning, ECONF 2015, October 18, 2015 - October 20, 2015* (pp. 131-134). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109/ECONF.2015.89. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1109/ECONF.2015.89>
- Zhang, Z., Tang, R., Peng, T., Tao, L., & Jia, S. (2016). A method for minimizing the energy consumption of machining system: integration of process planning and scheduling. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1647-1662. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.101>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261630172X>

Zhao, R., & Govind, R. (1991). Defuzzification of fuzzy intervals. *Fuzzy Sets and Systems*, 43 (1), 45-55. doi: 10.1016/0165-0114 (91)90020-Q. Repéré à [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114 \(91\) 90020-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0114 (91) 90020-Q)